

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра інженерної екології

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 502.335

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ткачук К.К

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ”

2018р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 101– Екологія

(код і назва спеціальності)

на тему: Енергозберігаючі режими роботи бурового верстату на кар’єрі

Виконала: студентка б курсу, групи ОЗ-71мп

(шифр групи)

Ткаченко Марія Олексіївна

(прізвище, ім’я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник : доцент, к.т.н; Крючков Анатолій Іванович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань
Студент _____

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва)

Кафедра інженерної екології

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 101 – Екологія

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ткачук К.К.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2018р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Ткаченко Марії Олексіївни

1. Тема проекту: «Енергозберігаючі режими роботи бурового верстату на кар'єрі»

Керівник проекту к.т.н., доц. Крючков А.І.

затверджені наказом по університету № _____ від «__» _____ 2018р.

2. Строк подання студентом проекту _____

3. Об'єкт дослідження: процес буріння верстатом СБШ.

4. Предметом дослідження є оптимальні параметри процесу буріння по критеріям енергоємності.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: оцінити буримість гірських порід; Прорахувати особливості розрахунку параметрів бурових робіт; Визначити критерії, методи та засоби оцінки буримості гірських порід на кар'єрах; Визначити зв'язок параметрів режиму буріння з буримістю порід; Розрахувати оптимальні параметри процесу буріння; Прорахувати економічну

ефективність верстату з встановленими новими параметрами; Дослідити процес руйнування породи шарошковим долотом; Запропонувати методику зменшення енергоємності процесу буріння.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

7. Перелік публікацій: Доповідь І Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ, 21-22 листопада 2018 року;

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормконтроль	Репін М.В		

9. Дата видачі завдання

Календарний план

№	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
.	Затвердження теми магістерської дисертації науковим керівником		
.	1-й розділ написання магістерської дисертації		
.	2-й розділ написання магістерської дисертації		
.	3-й розділ написання магістерської дисертації		
.	4-й розділ написання магістерської дисертації		
.	5-й розділ написання дисертації		
.	Строки подання магістерської дисертації		
.	Захист магістерської дисертації		

Студент

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Ткаченко М.О.

(ініціали, прізвище)

Крючков А. І.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки до магістерської дисертації складає 100 сторінок. Він вміщує в себе вступ, п'ять розділів та висновки.

Кількість ілюстрацій – 20, кількість таблиць – 15, кількість джерел згідно з переліком посилань – 56.

Мета дослідження. Метою роботи є становлення закономірностей та залежностей процесу шарошкового буріння, для розробки методики розрахунку оптимальних параметрів бурових робіт на кар'єрі по критерію мінімальної енергоємності.

Об'єкт дослідження – процес руйнування гірської породи верстатом.

Предмет дослідження – показники енергоефективності бурового верстату.

Наукова цінність та новизна. Вперше розроблена математична, ймовірна, динамічна, нестационарна, дисипативна модель процесу буріння, яка дозволила розрахувати оптимальні параметри процесу з достатньою для практики точністю і адекватністю модельованого об'єкту.

Практична значимість. Робота бурового верстату з установленими оптимальними параметрами буріння дозволяє знизити енергоємність буріння на 16-28% в залежності від типу гірських порід.

Ключові слова: КАР'ЄР, ГІРСЬКА ПОРОДА, БУРОВА УСТАНОВКА, ЕНЕРГОЄМНІСТЬ, БУРІННЯ, СКВАЖИНА, ОПТИМІЗАЦІЯ, РЕЖИМИ РОБОТИ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

The volume of the explanatory note to the master's thesis is 100 pages. It contains an introduction, five sections and conclusions.

The number of illustrations is 20, the number of tables is 15, the number of sources according to the list of references is 56.

The aim of the study. The purpose of the work is to formulate the patterns and dependencies of the process of chip drilling, to develop a methodology for calculating the optimal parameters of drilling operations in a career based on the criterion of minimum energy intensity.

The object of the study is the process of destruction of the mountain rock by a machine tool.

Subject of research - indicators of energy efficiency of a drilling machine.

Scientific value and novelty. The mathematical, probabilistic, dynamic, non-stationary, dissipative model of the drilling process was developed for the first time, which allowed to calculate the optimal parameters of the process with the accuracy and adequacy of the simulated object for practice.

Practical significance. The work of a drilling machine with optimal drilling parameters allows lowering the energy intensity of drilling by 16-28%, depending on the type of rocks.

Based on the research carried out on the models of the drilling process, parameters have been defined that provide optimal performance, and therefore, the minimum specific energy consumption of the process, which will reduce energy consumption by 17- 28%.

Key words: QUARRY, ROCK, DRILLING RIG, ENERGY INTENSITY, DRILLING, WELL, OPTIMIZATION, OPERATING REGIMES, ECONOMIC EFFICIENCY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. БУРОВІ РОБОТИ НА КАР'ЄРАХ І ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ БУРОВИХ РОБІТ.....	11
1.1 Оцінка буримості гірських порід	11
1.2 Критерії, методи та засоби оцінки буримості гірських порід на кар'єрах.....	11
1.3 Зв'язок параметрів режиму буріння з буримістю порід.....	20
Висновки до розділу 1	28
2. МОДЕЛІ І МЕТОДИ АНАЛІТИЧНОГО ОПИСУ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ ШАРОШКОВИМ ВЕРСТАТОМ	30
2.1 Існуючі моделі взаємозв'язку технічних та енергетичних параметрів буріння і їх оцінка.....	31
2.2 Аналіз і оцінка існуючих методів математичного моделювання і розрахунок параметрів процесу буріння	35
2.3 Основні наукові принципи при моделюванні процесів гірничого виробництва	39
2.3.1 Зародження і розвиток ідеї екстремальності дії в природі.....	39
2.3.2 Принцип найменшої дії.....	42
2.3.3 Принцип максимальної ентропії.....	44
2.3.4 Принцип дуальності руху маси в просторі.....	47
2.4 Методика моделювання процесу буріння свердловин на кар'єрі.....	48
Висновки до розділу 2	53
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ПРИ БУРІННІ ШАРОШКОВИМ ДОЛОТОМ.....	55
3.1 Конструктивні особливості і характеристики бурових верстатів, як область дослідження.....	55
3.2 Імовірнісна нестационарна модель процесу шарошкового буріння.....	56
3.2.1 Кінетична і потенціальна енергія системи.....	57
3.2.2 Енергія впливу у виконавчого органу бурового верстату на забій гірської породи.....	58

3.3 Аналіз результатів дослідження процесу руйнування гірської породи при шарошковому бурінні.....	64
Висновки до розділу 3	67
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОРИСТАННЯ В ЧАСІ БУРОВИХ ВЕРСТАТІВ ТИПУ СБШ.....	69
4.1 Основні операції і баланс часу роботи верстатів типу СБШ.....	69
4.2 Аналіз і класифікація причин простоїв бурових верстатів типу СБШ.....	72
4.3 Моделювання організаційних перерв і відмов на календарному часі для верстатів типу СБШ.....	74
4.4 Синтез моделі коефіцієнта використання в часі верстатів типу СБШ.....	75
Висновки до розділу 4	79
5. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПРОДУКТИВНОСТІ І ЕНЕРГОЄМНОСТІ БУРІННЯ ТА ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ БУРІННЯ ВЕРСТАТІВ ТИПУ СБШ.....	80
5.1 Розробка методики розрахунку швидкості шарошкового буріння.....	80
5.2 Розробка методики розрахунку коефіцієнта використання в часі верстата типу СБШ.....	81
5.3 Розробка методики розрахунку експлуатаційної змінної продуктивності бурових робіт на блоці.....	81
5.4 Методика розрахунку енергоємності буріння гірських порід.....	82
5.5 Оптимізація параметрів процесу буріння свердловин на кар'єрі, опис технології та ідеї стартап проекту.....	84
Висновки до розділу 5	91
ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

SWOT – аббревіатура, що походить від англійських слів strengths (сильні сторони), weaknesses (слабкі сторони), opportunities (можливості), threats (загрози);

ДСТУ – Державний стандарт України;

рис. – рисунок;

табл. – таблиця;

УДК – універсальний десятичний класифікатор;

ВСТУП

При проведенні відкритих гірничих робіт буріння вибухових свердловин є однією з основних, дуже трудомістких, енергоємних і дорогих операцій. До основних проблем відкритого способу видобутку корисних копалин відноситься фізичне старіння бурового устаткування [1]. Тому модернізація устаткування і створення нового покоління бурових верстатів є важливою науковотехнічною задачею, від вирішення якої залежить успішне функціонування гірничої галузі країни. Нині в кар'єрах України працює велика кількість гірничих машин з вичерпаним нормативним терміном служби, тому що в останнє десятиліття цілком припинилося відновлення устаткування. Бурові верстати зносилися в середньому на 80–100 %. Такий стан техніки вимагає заміни застарілих машин новими. Про масштабність такої заміни можна судити виходячи з того факту, що на кар'єрах гірничозбагачувального комбінату (ГЗК) Криворізького басейну наразі необхідно замінити 100 % бурових верстатів [2]. Також, у зв'язку з старінням обладнання, верстати типу СБШ потребують багато електроенергії для нормальної роботи. Тому, головним чином, важливо оптимізувати роботу верстатів щоб витратити якомога менше енергоресурсів.

Відповідно до програми розвитку гірничорудних підприємств Дніпропетровської області до 2019 р. потреба в бурових верстатах нового покоління складає не менш 90 одиниць. Імпорт бурової техніки з країн ближнього зарубіжжя вимагає значних інвестицій і не забезпечить підвищення технікоекономічних показників гірничого виробництва. Тому безальтернативним варіантом вирішення проблеми розвитку гірничого виробництва країни є оптимізація і впровадження методики роботи нового рівня, що забезпечить як підвищення експлуатаційних показників самих машин, так і можливість комплексного технічного переозброєння і реконструкції галузі. Наявність на території України розвинених підприємств

електротехнічної і машинобудівної промисловості дасть можливість успішно вирішити поставлену задачу.

Поряд з удосконалюванням механічної частини бурових верстатів необхідно поліпшувати і привідну систему, що повинна відповідати досягнутому рівню в електротехнічній промисловості. Тільки так вдасться створити конкурентноздатну машину, з малими затратами енергетичного ресурсу при роботі.

Метою роботи є становлення закономірностей та залежностей процесу шарошкового буріння для розробки методики розрахунку оптимальних параметрів бурових робіт на кар'єрі по критерію мінімальної енергоємності.

Задачі дослідження : оцінити буримість гірських порід,. Прорахувати особливості розрахунку параметрів бурових робіт. Визначити критерії, методи та засоби оцінки буримості гірських порід на кар'єрах . Визначити зв'язок параметрів режиму буріння з буримістю порід. Розрахувати оптимальні параметри процесу буріння. Прорахувати економічну ефективність верстату з встановленими новими параметрами. Дослідити процес руйнування породи шарошковим долотом.

Наукова цінність та новизна : вперше розроблена математична ймовірнісна динамічна нестационарна дисипативна модель процесу буріння, яка дозволила розрахувати оптимальні параметри процесу з достатньою для практики точністю і адекватністю модельованого об'єкту.

Практична значимість : Робота бурового верстату з установленими оптимальними параметрами буріння дозволяє знизити енергоємність буріння на 16-28% в залежності від типу гірських порід.

1 БУРОВІ РОБОТИ НА КАР'ЄРАХ І ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ БУРОВИХ РОБІТ

1.1 Оцінка буримості гірських порід

Буримість гірської породи - здатність породи чинити опір проникненню в неї бурового інструменту, або інтенсивність створення в породі шпуру (свердловини) під дією зусиль, що виникають при бурінні. Буримість породи характеризують швидкістю буріння (м / хв), рідше - тривалістю буріння 1 м шпуру (хв / м).

Найважливішим завданням теорії буріння є пояснення фізичної природи процесів і явищ і створення на цій основі математичної моделі і розрахункових формул для визначення величин швидкості буріння, енергоємності та інших параметрів процесу.

Правильність теоретичних передумов і формул перевіряють на основі досліджень в лабораторних умовах і на кар'єрах. Для отримання об'єктивної оцінки буримості гірських порід слід виходити з таких передумов: критерій буримості повинен служити дійсною характеристикою опору порід конкретному виду руйнування і дозволяти оцінювати її кількісно.

Цей критерій повинен бути об'єктивним, незалежним від зміни параметрів режиму буріння і виключати можливість суб'єктивних оцінок; Він повинен задовольняти умові контролю приладами.

Контроль буримості за допомогою приладів має проводитися безперервно за будь-які проміжки часу в будь-якому обсязі буріння.

1.2 Критерії, методи та засоби оцінки буримості гірських порід на кар'єрах

Буримість гірських порід оцінюється швидкістю буріння V або часом буріння одиниці довжини свердловини t_0 . У практиці відомий ряд спеціалізованих класифікацій (шкал) буримості для різних способів буріння і

типорозмірів бурового інструменту. Вони необхідні, головним чином, для нормування бурових робіт і можуть бути використані з цією метою спільно з єдиною класифікацією гірських порід Центрального бюро промислових нормативів з праці (ЦБСНП), призначеної для установки норм виробітку (часу) і нормативів на буріння свердловин верстатами шарошкового буріння різанням на кар'єрах. Таким чином, єдина класифікація порід є еталоном, яким можна користуватися не тільки при створенні спеціалізованих шкал для різних способів механічного руйнування порід, але також і при обґрунтуванні будь-якого нового критерію буримості [3].

Великий обсяг досліджень з оцінки буримості порід за швидкістю і енергоємністю буріння був виконаний за методом одночасної реєстрації двох найважливіших вихідних параметрів режиму буріння - швидкості і питомої енергоємності, зв'язок між якими підпорядковується залежності [3] :

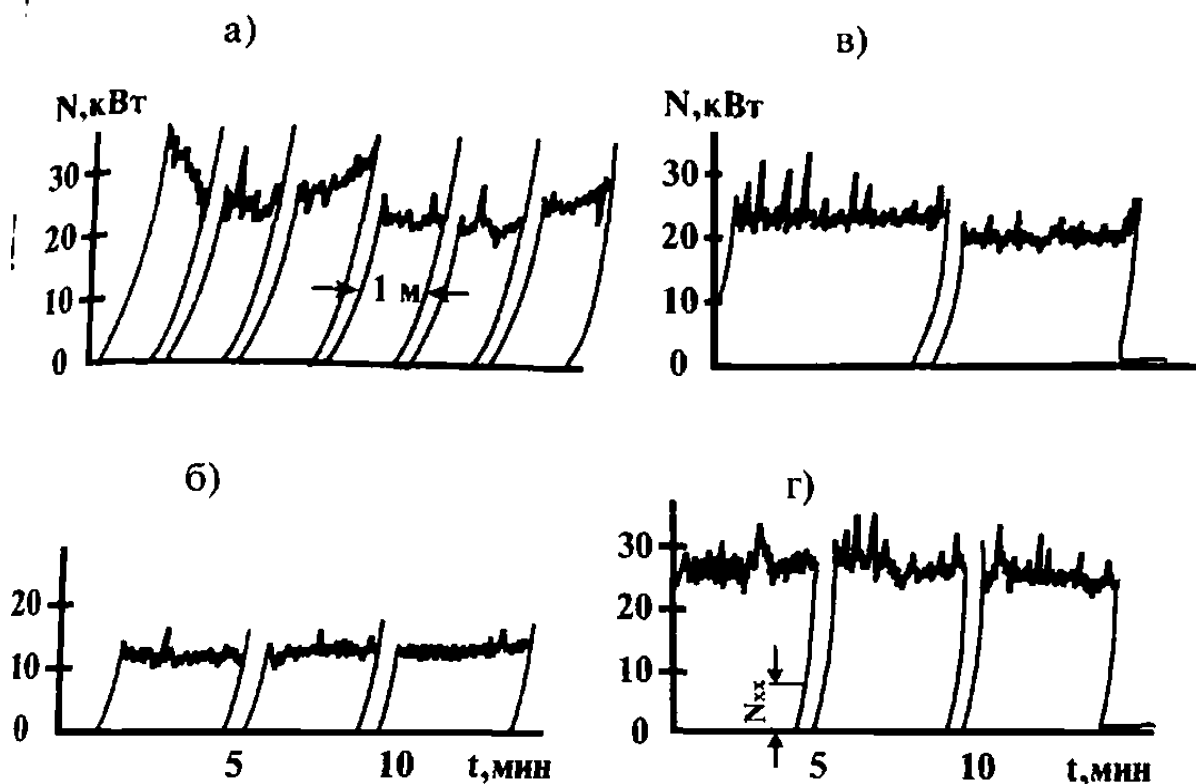
$$V = \frac{N}{e} , \quad (1.1)$$

де N - потужність, споживана двигуном, кВт;

e - питома енергоємність буріння, кВт год / м.

Ці параметри реєструвалися за допомогою самописних ватметрів Н-348, що підключаються в ланцюг двигуна обертача (рис. 1.1).

Руйнування породи на забої свердловини відбувається при участі трьох споживачів енергії: двигуна обертача, насоса гідросистеми і компресора системи продувки. Система продувки при достатній і постійній кількості повітря мало впливає на зміну енергоємності процесу, тим більше, якщо вимірювання проводяться в деякому постійному діапазоні глибини свердловини. Витрати енергії на створення осьового зусилля складають не більше 20% енергії, споживаної двигуном обертача. Ці витрати досить стабільні.



а) легкобуримі тріщинуваті; б) легкобуримі відносно монолітні; в) міцні відносно монолітні; г) міцні тріщинуваті.

Рисунок 1.1. Характерні записи енергоємності в породах [3]

Встановлено [4], що процес буріння шарошковим долотом відбувається переважно за рахунок енергії обертача, частка якої на руйнування породи на порядок більше частки енергії осьового зусилля. Практичне використання результатів досліджень можливе тільки при оснащенні кожного бурового верстата приладами для реєстрації енергоємності буріння. Оснащення верстатів такими приладами дозволило отримати велику кількість експериментальних даних по міцності порід. Енергоємність буріння реєстрували на базах від 1 до 8 м, відповідних величині перехоплення штанги на верстатах БСШ-1м і 2СБШ-200 або повної висоти штанги на верстатах СБШ-250.

Протягом всього періоду досліджень на тих же базах одночасно з енергоємністю фіксували час буріння. В результаті обробки

експериментальних даних була встановлена кореляційна залежність між питомою енергоємністю буріння і його механічною швидкістю [3]:

$$e = \frac{30}{v} \quad . \quad (1.2)$$

Коефіцієнт кореляції показників в умовах різних кар'єрів коливався від 0,79 до 0,83 при коефіцієнті варіації даних від 15 до 18%. Таким чином, зв'язок між питомою енергоємністю буріння і її механічною швидкістю має ймовірнісний характер.

Стійка залежність між аналізованими показниками була використана як основа для складання шкали буримості гірських порід по питомій енергоємності буріння. Для цього використаний варіант залежності (1.2), в якій швидкість замінена часом буріння 1 м (ч):

$$e = 30 \cdot t, \text{ кВт г/м.} \quad (1.3)$$

З огляду на те, що на кар'єрах широко застосовують класифікацію ЦБПНТ, доцільно трансформувати існуючу шкалу зі швидкості буріння на його питому енергоємність. Після підстановки в формулу (1.3) величин основного часу буріння для відповідних категорій міцності порід шкала буріння за новим критерієм має вигляд (табл. 1.1) [3].

Аналогія в розподілі порід по міцності і близькі значення енергоємності при абсолютно різних механізмі і величинах швидкості ударно-канатного і шарошкового буріння свідчать про те, що питома об'ємна робота буріння є найбільш об'єктивною характеристикою міцності і буримості гірських порід.

Таблиця 1.1- Зв'язок класифікацій буріння з питомою енергоємністю

Основний час буріння г/м	Питома енергоємність буріння кВт год/м	Категорія міцності по шкалі ЦБПНТ
1	2	3
0,02-0,023	0,5-0,7	VI
0,024-0,03	0,7-0,9	VII
0,031-0,036	0,9-1,1	VIII
0,037-0,043	1,1-1,3	IX
0,044-0,049	1,3-1,5	X
0,05-0,056	1,5-1,8	XI
0,057-0,066	1,8-2,1	XII
0,067-0,083	2,1-2,5	XIII
0,084-0,097	2,5-2,9	XIV
0,098-0,118	2,9-3,5	XV
0,019-0,138	3,5-4,2	XVI
0,139-0,166	4,2-5,0	XVII
0,167-0,198	5,0-5,9	XVIII
0,194-0,225	5,9-6,9	XIX
0,226-0,27	6,9-8,1	XX

Норми часу і величини енергоємності визначені шляхом розв'язку рівняння, що витікає із закону геометричної прогресії, за яким побудована класифікація ЦБПНТ, тобто шляхом визначення величини основного часу буріння для шуканої категорії порід:

$$t_x = \frac{t_n}{p^{n-1}}, \text{ год/м} \quad (1.4)$$

де t_n - основний час буріння для категорії породи, г/м.;

n - число категорій;

p – знаменник прогресії.

Відомо, що швидкість буріння при інших рівних умовах змінюється обернено пропорційно площі вибою свердловини. Звідси випливає, що в табличні значення питомої енергоємності буріння для відповідних категорій

буримості порід необхідно вводити поправку на зміну діаметра долота, або привести шкалу до єдиної об'ємної розмірності кВт год / м³.

Згідно з дослідженнями Б. Н. Кутузова і І. Г. Міхєєва [5] ефективність руйнування породи під штирьовим шарошковим долотом досягається, якщо дотримується умова :

$$P \geq 0,12 \cdot \sigma \cdot R^2, \text{ кгс}, \quad (1.5)$$

де R – радіус долота, см.

Таким чином, при збільшенні діаметра доліт обов'язковою умовою в міцних породах є одночасне збільшення осьового зусилля на забій.

При відносно постійних витратах (на машино-зміну) $C_{мз}$ і вартості долота C_d техніко-економічні показники буріння визначаються продуктивністю верстата Π і стійкістю доліт L_d . Вартість буріння 1 м свердловини визначається за формулою:

$$C_b = \frac{C_{мс}}{\Pi} + \frac{C_d}{L_d}, \text{ у. о.},$$

В свою чергу параметри Π та L_d знаходяться в тісній залежності від міцності породи, яка піддається бурінню.

На підставі аналізу результатів відпрацювання 1433 шарошкових доліт різних типів і розмірів зроблено висновок [6], що стійкість долота може бути визначена за виразом:

$$L_d = \frac{7500}{f^2}, \text{ м},$$

Тут постійне число є узагальненою характеристикою технічного рівня

доліт, встановлене на підставі кореляційного аналізу. Однак багато дослідників вважають, що оцінювати знос породоруйнуючого інструменту тільки в залежності від коефіцієнта принципово невірно.

Б.І. Воздвиженський та ін. [7] вважають, що стійкість шарошкових доліт залежить від коефіцієнтів твердості P_k і абразивності K_a гірських порід.

Стійкість доліт запропоновано визначати [8] за виразом:

$$L_D = \frac{R}{p^y n^x v}, \text{ м}$$

де R - емпіричний коефіцієнт, який має постійне числове значення;

x, y - показники ступеня, що залежать від міцності порід.

Ідею оцінки стійкості доліт деякою постійною величиною висували неодноразово. Цю величину запропоновано називати [9] коефіцієнтом працездатності долота:

$$R = f(\alpha_6 h P_n),$$

де α_6 коефіцієнт, що враховує умови буріння долота на вибої;

h - довговічність елементів долота.

Далі пропонується формула [3]:

$$L_D = \frac{\alpha_6 R P^\sigma}{n^2}, \text{ м},$$

де α_6, z, σ - емпіричні коефіцієнти.

Стійкість долота може бути вірно оцінена лише в тому випадку, якщо чітко визначено властивості порід, що впливають на зношення інструменту.

Найбільш представницьким показником, що відображає весь комплекс таких властивостей порід, є питома енергоємність буріння. Використовуючи її, як інтегральну характеристику властивостей буріння порід при визначенні стійкості долота, пропонується формула:

$$L_d = \frac{R}{e}, \text{ м}$$

Для перевірки цього припущення на кар'єрі Саяк-1 була виконана серія спостережень. На трьох верстатах СБШ-250 були встановлені прилади реєстрації енергоємності буріння. Для перевірки функціонального зв'язку [12] при кожній зміні долота запускали прилад, а після відпрацювання долота визначали кількість затраченої енергії і число пробурених метрів. Подібні спостереження були виконані за відпрацюванням 24 доліт на ділянці неоднорідних порід з питомою енергоємністю від 0,8 до 5 кВт • год/м, в яких стійкість доліт змінювалася від 58 до 250 м (рис. 1.3).

Аналіз результатів спостережень показав, що долота а 1В-2430КП незалежно від умов буріння мають практично постійну працездатність, рівну 285 кВт год, при коефіцієнт варіації даних 2,5%. При цьому зв'язок між стійкістю долота і питомою енергоємністю буріння підпорядковується рівнянню гіперболи:

$$L_d = \frac{285}{e}, \text{ м}$$

Експериментальні спостереження, виконані на верстатах СБШ-250. показали, що стійкість доліт інтенсивно падає при збільшенні частоти обертання. Цей висновок ілюструється спостереженнями, виконаними [10] при роботі верстатів БСШ-1м на Кальмакирському кар'єрі, де в породах різної міцності, яка визначається величиною питомої енергоємності, свердловини бурили долотами ДТ ІМОК діаметром 190 мм при постійному осьовому зусиллі

14-16 тс і частотах обертання 80-100 і 120-160 об / хв (рис. 1.4).

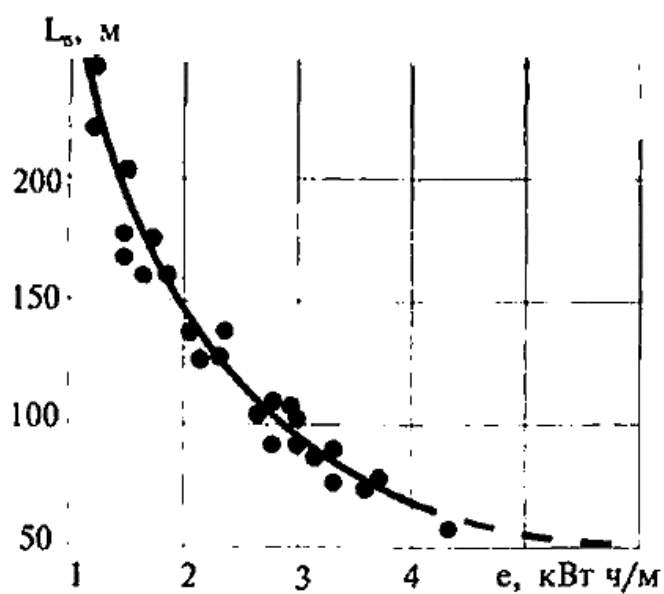
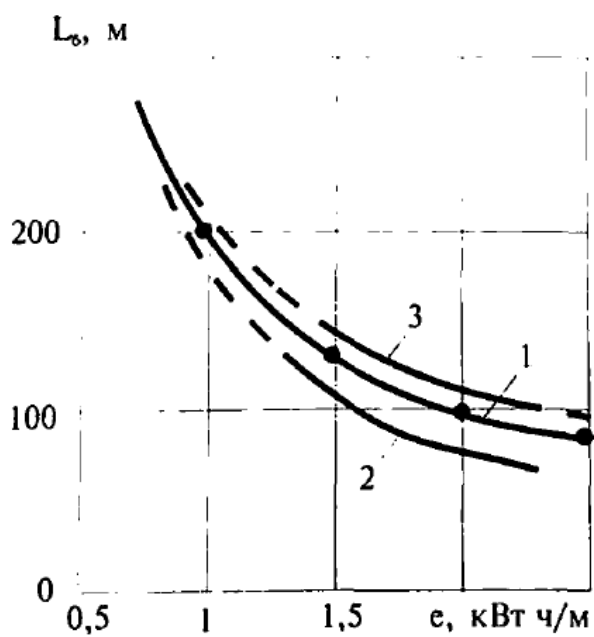


Рисунок 1.3 – Залежність стійкості долота 1В-2430КП від питомої енергоємності буріння



1- 100-120 об/хв., 2 – 80-100 об/хв., 3 – 160 об/хв.

Рисунок 1.4 – Залежність стійкості долота 5Н-190К від енергоємності буріння порід

Таким чином, вартість буріння 1 м свердловини можна виразити через конкретні величини, що характеризують процес буріння: змінну продуктивність верстата:

$$\Pi = V \times T_0, \text{ м} \quad (1.13)$$

де V – середня швидкість буріння, м / год; T_0 – час на виконання основних операцій при бурінні, год.

З урахуванням залежності (1.1):

$$\Pi = \frac{NT_0}{e}, \text{ м} \quad (1.14)$$

тоді, підставивши в формулу (1.6) залежно (1.11) і (1.14), отримаємо:

$$C = \frac{C_{мс}e}{NT_0} + \frac{C_{де}}{R}, \text{ у.о. / м} \quad (1.15)$$

Ця формула може бути використана для аналізу можливостей автоматизації процесу буріння і вдосконалення конструкції верстатів.

1.3 Зв'язок параметрів режиму буріння з буримістю порід

Необхідність дослідження залежності осьового зусилля на забій, частоти обертання бурового снаряда і кількості подаваного повітря від властивостей буримих порід виникла з появою на кар'єрах верстатів шарошечного буріння.

Залежності швидкості буріння від осьового зусилля (рис. 1.5) і частоти обертання (рис. 1.6) свідчать про те, що пропорціональне зростання швидкості буріння досягається при збільшенні осьового зусилля, але не частоти обертання. Це підтверджується також залежністю [4] :

$$V = kn^x P^y, \quad (1.16)$$

де $k = 0,0024$;

$x = 0,7$;

$y = 1,1$.

Більш високе значення показника ступеня y , ніж x , є доказом більш тісної залежності швидкості буріння від осьового зусилля. Залежність швидкості буріння від кількості повітря, що подається на забій на підставі досліджень [5] апроксимується формулою :

$$V = \frac{Q_B}{a + bQ_B}, \quad (1.17)$$

де a і b - постійні величини, що залежать від фізико-механічних властивостей порід, конструкції долота, розміру кільцевого зазору і інших параметрів процесу.

Були проведені дослідження по встановленню характеру взаємної залежності параметрів режиму буріння. Результати цих досліджень, виконаних на різних кар'єрах, приведені в роботах [11, 12]. Умови виконання досліджень відображені в табл. 1.2. Деякі з цих даних, доповнені матеріалами з інших джерел, наведені на рис. 1.7, на якому криві можна розділити на дві групи: ті, що мають екстремальне значення питомої енергоємності буріння в області мінімуму (криві 1, 2, 3, 6) і прагнуть до мінімуму, але не досягають його (криві 4, 5, 7, 8). Закономірна залежність енергоємності від тиску має цілком зрозумілі причини.

Таблиця 1.2 - Умови виконання досліджень

Показники	БСШ-1м (крива 1)	2СБШ-200 (криві 2,3)	БАШ-250 (крива 4)	СБШ-250 (криві 5, 6, 7,8)	2СБШ-200 (криві 9,10)
Діаметр долота, м	190	214 214	269	243 243 243	214
Коефіцієнт міцності, f	6-7	9-12 12-14	12-14	8 10 12	8-11 10-12
Частота обертання об/хв	150-170	100 80	100	81 81 81	80 80

Тут звертають на себе увагу два основних фактори:

1. у будь-якому з графіків мінімальної питомої енергоємності буріння відповідає тиск, при якому процес руйнування породи відбувається з найбільшою ефективністю.

2. при коливаннях осьового зусилля в межах $\pm 30\%$ від оптимального для даних умов енергоємність буріння збільшується по відношенню до мінімального рівня на 5-10% . Лише в окремих випадках, коли буріння виконано при повній відсутності тиску в гідросистемі верстата (криві 3, 7), або при осьовому зусиллі, явно недостатній для ефективного руйнування породи (криві 4, 5, 6), питома енергоємність буріння зростала на 30-200%.

Великий обсяг досліджень, пов'язаних з реєстрацією енергоємності і швидкості обертального буріння шпурів в породах різної міцності виконано [15] на стенді з використанням шарошечні доліт ємності і швидкості обертального буріння шпурів в породах різної міцності виконано [16] на стенді з використання шарошечних доліт діаметром 40-45 мм.

Результати випробувань (рис. 1.8) свідчать, що при досягненні мінімальної величини енергоємність буріння залишається постійною незалежно від змін його режиму. У цьому відношенні показові криві на рис. 1.8, де зміна швидкості буріння досягалась за рахунок одночасного регулювання осьового зусилля від 2500 до 15000 Н і частоти обертання від 140 до 440 об / хв.

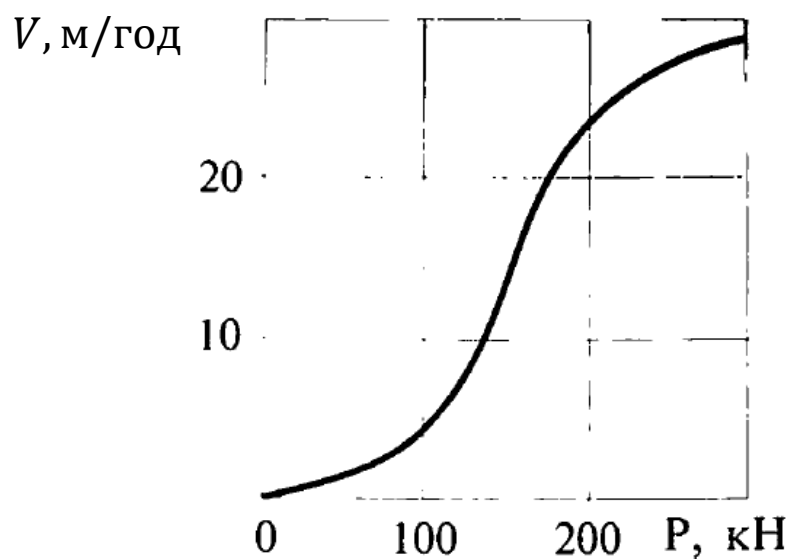
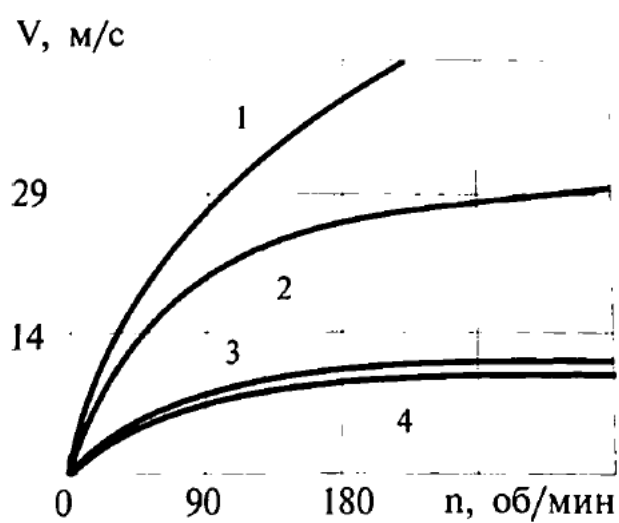


Рисунок 1.5 – Залежність швидкості буріння від осевого тиску на долото (за К.І Івановим [13]).



1 – карбонатно глинистий сланець, 2 – доломітизоване вапно, 3 – граніт, 4 – кварцит [11].

Рисунок 1.6 – Залежність швидкості буріння долотом СДС-28Т від частоти обертання при сталому тиску.

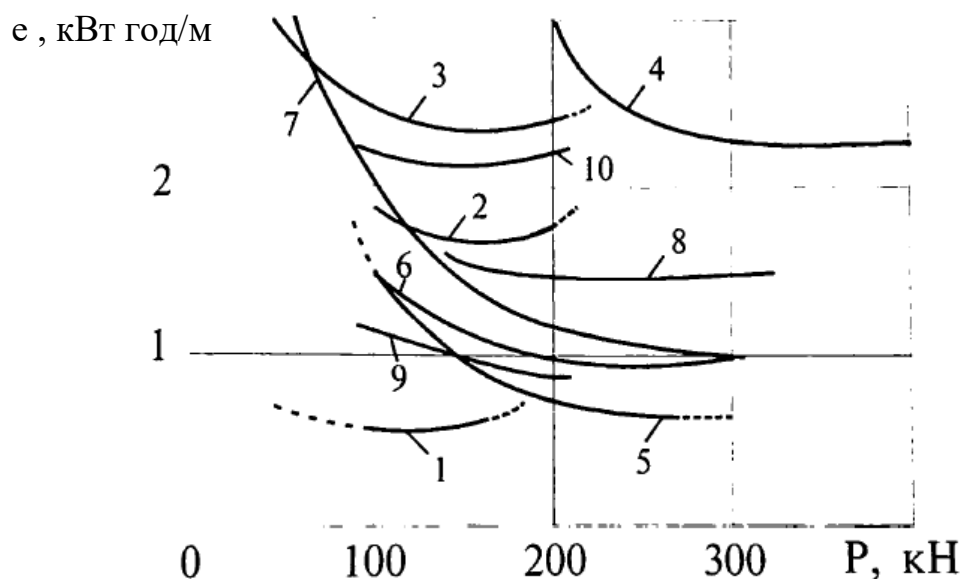


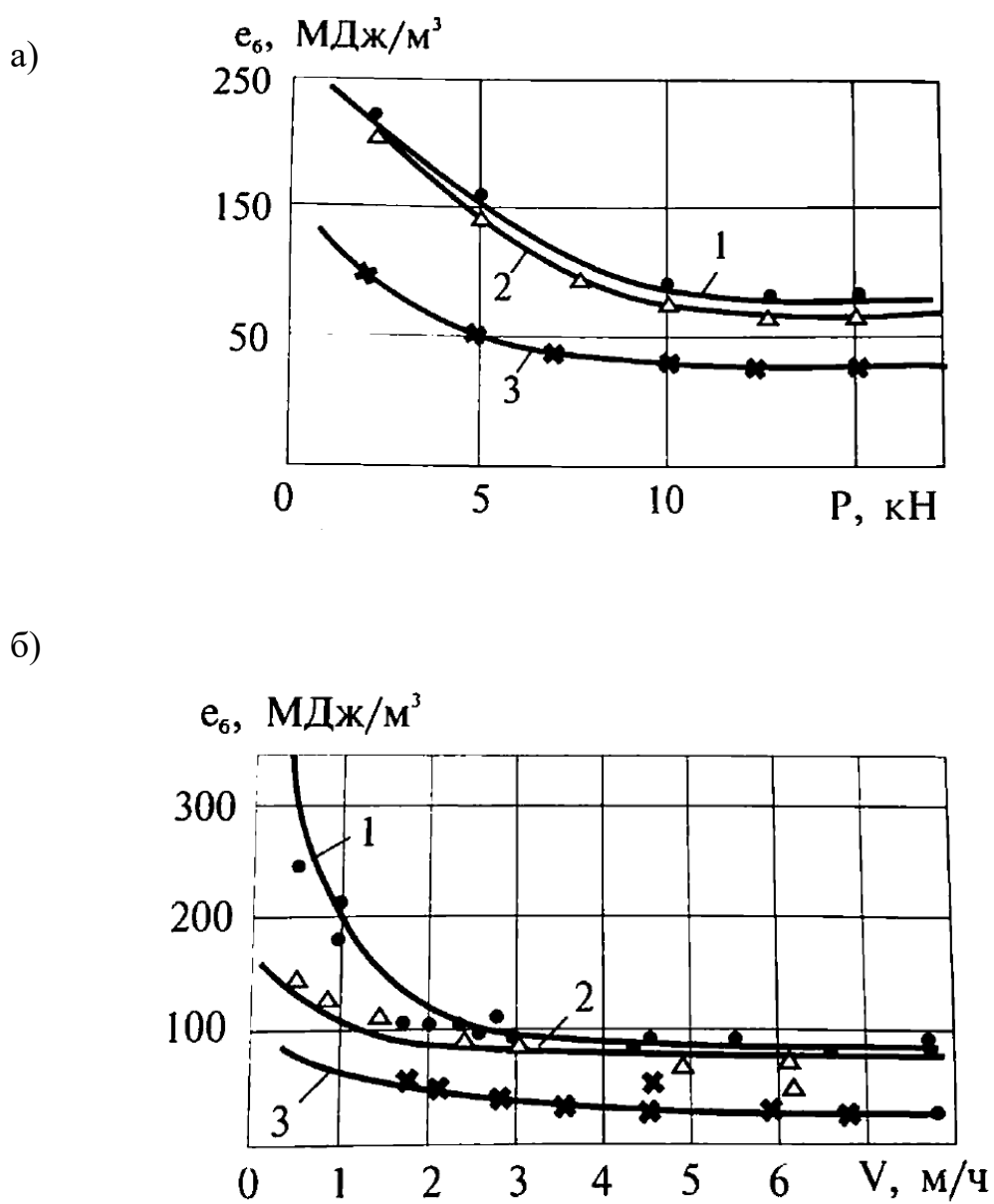
Рисунок 1.7 – Залежність питомої енергоємності шарошкового буріння від осьового зусилля

Швидкість буріння в значній мірі залежить від осьового зусилля і частоти обертання снаряда [3] (рис. 1.9). Якщо проаналізувати коливання швидкості и питомої енергоємності буріння відносно їх середніх величин, то по ВЕЕМ експериментальний даним швидкість буріння коливається на $\pm 100\%$, а енергоємність - на $\pm 50\%$; по експериментам, де зберігався об'ємний характер руйнування порід при коливання швидкості до $\pm 25\%$, Питома енергоємність буріння змінюється в межах $\pm 5\%$.

Експериментальні дані є основним доказом твердження про більш високу інформативність показника питомої енергоємності по відношенню до середовища, ніж швидкість буріння. Аналізуючи криві 1-11, наведені на рис. 1.9, можна зробити висновок, що механічна швидкість буріння відображає конструктивні можливості верстата, ніж гірничо-технологічні властивості бурим порід.

Розглянемо причини появи екстремальних величин питомої енергоємності буріння і швидкості (див. Рис. 1.7 і 1.9). Залежність між питомою енергоємністю і часом буріння 1 м свердловини отримана на верстаті 2СБШ-200. В даному випадку частота обертання у всіх випробуваннях була постійною (130-140 об / хв), а тиск - саморегульованим в залежності від міцності порід і швидкості буріння.

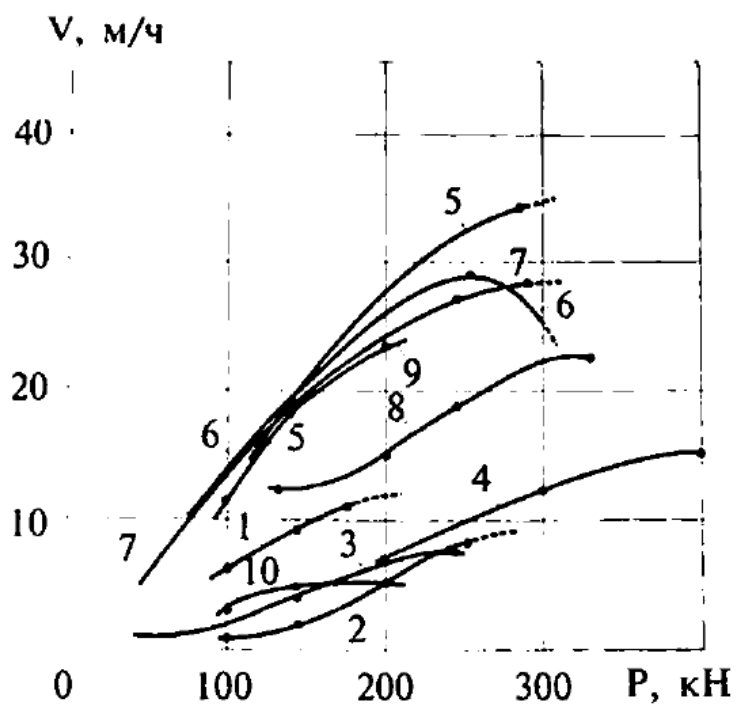
Результати цих дослідів (рис. 1.10) в поєднанні з раніше викладений ними результатами досліджень, виконаних на верстатах СБШ-250, переконують в тому, що вивчення процесу буріння і його показників в виробничих умовах має базуватися тільки на принципах теорії ймовірності і математичної статистики. Суцільна лінія на Рис. 1.10 характеризує середнє значення потужності, а пунктирні - поле дисперсії. Значний розкид даних є наслідком вимірювань в умовах реального часу, де вихідні параметри процесу, особливо швидкість буріння, знаходяться в складному функціональному зв'язку з вихідними параметрами, неоднорідністю порід, відмінності в густині і ступені розкриття тріщин.



1 – Мрамор , 2 – Граніт, 3 – Конгломерат

Рисунок 1.8 – Залежність питомої енергоємності буріння від осьового зусилля
(а) , швидкості буріння (б)

а)



б)

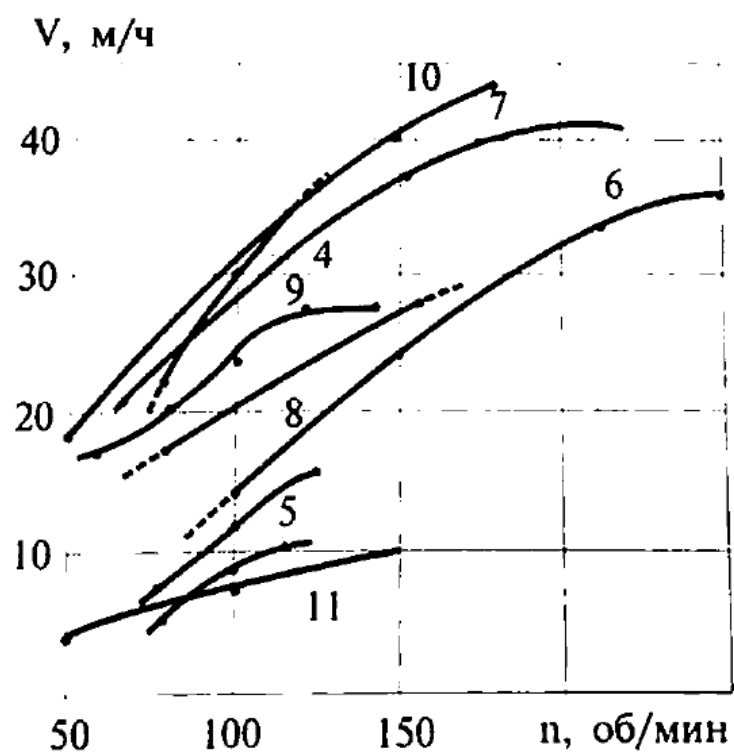


Рисунок 1.9 – Залежність швидкості шарошкового буріння в різних породах від величини осьового зусилля (а) і частоти обертання долота (б).

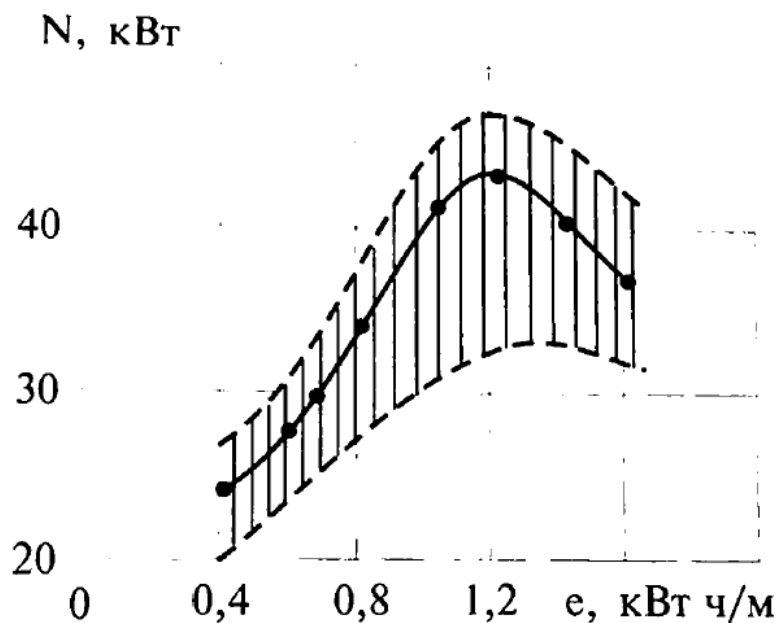


Рисунок 1.10 – Залежність потужності двигуна обертача 2СБШ-200 від енергоємності буріння.

Висновки до розділу 1

1. Для отримання об'єктивної оцінки буримості гірської породи слід виходити з нижче наведеного: критерій оцінки повинен служити дійсною характеристикою опору порід конкретного виду руйнування і дозволяти оцінювати її кількісно; критерій повинен бути об'єктивним, незалежним від зміни параметрів режиму буріння і виключає можливість суб'єктивних оцінок. Критерій повинен задовольняти умові можливостей вимірів приладами.

2. Завдяки дослідженням оцінки буримості порід за методом одночасної реєстрації двох найважливіших вихідних параметрів режиму буріння - швидкості і питомої енергоємності, було встановлено зв'язок між ними.

3. Зв'язок між питомою енергоємністю буріння і її механічної швидкістю

має імовірносний характер.

4. У застосовуваній на кар'єрах класифікації ЦБПНТ доцільно зіставити шкалу за швидкістю буріння з його питомою енергоємністю.

5. При збільшенні діаметра долота обов'язковою умовою ефективного буріння в міцних породах є одночасне збільшення осьового зусилля на забій.

6. Стійкість долота залежить від питомої енергоємності буріння і підпорядковується рівнянню гіперболи $L_d = 285 / e$.

7. Метою роботи є становлення закономірностей та залежностей процесу шарошкового буріння для розробки методики розрахунку оптимальних параметрів бурових робіт на кар'єрі по критерію мінімальної енергоємності.

8. Для досягнення мети в роботі необхідно розв'язати наступні наукові задачі - оцінити буримість гірських порід. Визначити критерії, методи та засоби оцінки буримості гірських порід на кар'єрах . Визначити зв'язок параметрів режиму буріння з буримістю порід. Розрахувати оптимальні параметри процесу буріння. Прорахувати економічну ефективність верстату з встановленими новими параметрами.

2. МОДЕЛІ І МЕТОДИ АНАЛІТИЧНОГО ОПИСУ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ ШАРОШКОВИМ ВЕРСТАТОМ

2.1 Існуючі моделі взаємозв'язку технічних та енергетичних параметрів буріння і їх оцінка

Основним вихідним параметром, що характеризує ефективність буріння породи, є механічна швидкість проходки. Характер її залежності від осьового навантаження і частоти обертання долота визначено у ВНПБТ і представлений у вигляді [14]:

$$V = k_{\delta} n^{\alpha} P^{\beta}, \quad (2.1)$$

де k_{δ} - коефіцієнт пропорційності, що залежить від досконалості очищення забою, ступеня зносу зубців долота і фізико-механічних властивостей породи;

α - коефіцієнт що залежить, від типу долота, фізико механічних властивостей породи і досконалості очищення забою;

β - коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей прохідних порід. Коефіцієнт k_{δ} іноді називають коефіцієнтом буримості.

Цей вираз прийнято як математичну модель. В останні роки зазначена модель модернізована і враховує падіння механічної швидкості під час буріння в зв'язку із зносом виконавчого органу.

$$V = k_{\delta} n^{\alpha} P^{\beta} e^{-at}, \quad (2.2)$$

де α - коефіцієнт, що залежить від типу долота і властивостей породи.

У США використовується модель, де знос озброєння долота враховується за допомогою деякого полінома:

$$V = k_6 n^\alpha P^\beta (D\partial)_1, \quad (2.3)$$

де $P = PD_\partial$ - питома величина осьового навантаження, що припадає на одиницю довжини діаметра долота .

$D_\partial: (D)_1 = 1(0,3D^2 + 6D + 1)$ – функція, яка враховує знос озброєння долота в відносних одиницях в функції часу (при відсутності зносу $D = 0$, при повному зносі $D = 1$).

c - коефіцієнт, що враховує форму вершини зуба при його зносі ($c = 1$ - з плоскою вершиною зуба , $c = 0,5$ - зі зберіганням деякої загостреності).

Поряд з формою представлення моделі процесу буріння є моделі у вигляді системи диференціальних рівнянь:

а) рівняння механічної швидкості проходки:

$$\frac{dh}{dt} = A \frac{p^{\alpha_1} n^{\beta_1}}{(1+k_6)P}, \quad (2.4)$$

де A - коефіцієнт, що залежить від властивостей промивної рідини;

α_1, β_1 - коефіцієнти, що мають фізичний зміст, подібний α і β у формулі (2.1).

б) рівняння швидкості зносу зубів :

$$\frac{d\partial}{dt} = B \frac{p^{\alpha_2} n^{\beta_2}}{1+k_6}, \quad (2.5)$$

в) рівняння швидкості зносу опори :

$$\frac{df}{dt} = c P^{\alpha_3} n^{\beta_3} \quad (2.6)$$

де α_3 і β_3 - коефіцієнти, подібні α й β ;

c - постійна, що залежить від конструкції долота і властивостей промивної рідини.

Надалі математична модель була доповнена урахуванням впливу витрати промивної рідини Q і прийняла такий вигляд:

а) рівняння механічної швидкості буріння:

$$\frac{dh}{dt} = k_6 P^{\beta} n^{\alpha} Q^{\gamma} (1 + a Q^{\gamma}) F(t), \quad (2.7)$$

де a - коефіцієнт, що залежить від типу долота;

γ - коефіцієнт, що залежить від режимних параметрів буріння і характеру породи;

$F(t)$ характеризує інтенсивність спаду механічної швидкості;

б) рівняння швидкості зносу зубів:

$$\frac{dF}{dt} = -aP^{\beta_1}n^{\alpha_1}Q^{\gamma_1}F(t), \quad (2.8)$$

де γ_1 коефіцієнт, що залежить від режимних параметрів буріння і характеру породи;

в) рівняння швидкості зносу опори:

$$\frac{dB}{dt} = AP^{\beta_2}n^{\alpha_2}Q^{\gamma_3}, \quad (2.9)$$

де γ_2 - коефіцієнт, що залежить від режимних параметрів порід.

У США прийнята дещо інша система диференціальних рівнянь:

а) рівняння механічної швидкості буріння:

$$\frac{dF}{dt} = c_f(W^Kra^p), \quad (2.10)$$

де F - проходка;

t - час механічного буріння;

c_f - параметр буримості порід;

W - осьове навантаження на долото;

K - показник ступеня осьового навантаження, що залежить від властивостей породи;

$r = e^{-100N^2}N^{0,428} + 0,2N(1 - e^{-100N^2})$ - для твердих порід;

$r = e^{-100N^2} N^{0,75} + 0,5N(1 - e^{-100N^2})$ - для м'яких порід;

N - частота обертання долота;

$a = 0,928125D^2 + 6D + 1$ - функція притуплення долота;

p - показник ступеня, що залежить від типу долота и властивостей породи;

б) рівняння швидкості зносу виконавчого органу:

$$\frac{dD}{dT} = \frac{i}{A_f a^m}, \quad (2.11)$$

де O - притуплення озброєння, яке дорівнює відношенню зносу зуба по висоті до його первісної висоті;

$$i = N + 4,348 \cdot 10^{-5} N^3$$

A_f - параметр абразивності;

$$m = 1359,1 - 714,19W$$

в) рівняння швидкості зносу опор:

$$\frac{dB_x}{dt} = \frac{N}{SL}, \quad (2.14)$$

де B_x - частка стійкості опор, витрачених до оскільки він розглядався моменту;

S - параметр, що характеризує властивості бурового розчину;

L - табульована функція від еквівалентної осьового навантаження на долото;

$$W = 7,881 W/H;$$

H - діаметр свердловини або долота.

Розглянуті моделі і ряд інших, які є в якійсь мірі модифікацією розглянутих, свідчать про постійний інтерес дослідників до проблеми ефективного буріння гірських порід. Однак ці моделі, як правило, є детермінованими і статичними моделями, що не дозволяє розглядати їх як достатній математичний об'єкт, що дозволяє встановити основні характеристики модельованого ймовірного, динамічного, нестационарного процесу буріння гірської породи. Для таких процесів потрібні й адекватні моделі.

2.2 Аналіз і оцінка існуючих методів математичного моделювання і розрахунок параметрів процесу буріння

Вибір оптимального розв'язку задачі проектування бурових робіт з безлічі допустимих варіантів можна здійснити методами, які, в залежності від їх глибини і достовірності отриманих результатів, можуть бути поділені на дві групи (рис.2.1) аналітичні і логіко-інтуїтивні.

Група логіко-інтуїтивних методів розглядає питання проектування бурових робіт з позицій накопиченого досвіду виробництва і традиційних підходів проектування. Метод вирішення завдань за аналогією дозволяє отримати кількісну оцінку шляхом порівняння керованих параметрів даної задачі з її прототипом з проекту або виробництва.

Типові варіанти і нормативні матеріали являють собою стандартизовані для гірничодобувних галузей вирішення завдань, які найбільш часто зустрічаються. Ці рішення є локальними за своїм характером, оскільки в кожному випадку вони отримані для конкретних умов. Метод експертних оцінок полягає у виявленні найбільш прийняттого варіанту проекту шляхом збору, узагальнення та статистичної обробки за певними методиками висновків відомих фахівців по розглянутому питанні. Логічні інженерні рішення також

дозволяють отримати необхідні проектні рішення, хоча і далекі від оптимальних. Їх достовірність залежить від ерудиції та навичок виконавця робіт, а також повноти наявної в його розпорядженні інформації.

Метод техніко-економічного аналізу процесу бурових робіт полягає в порівнянні за одним або кількома загальними критеріями наявних конкуруючих варіантів з метою вибору найкращого з них. Перевагами цього методу, як при аналізі, так і при синтезі, є простота, точність і наочність. Але він розроблений тільки для дискретних статичних задач і передбачає великий обсяг машинних обчислень. Решта перераховані аналітичні методи (рис. 2.1) знайшли вужче застосування в гірничих проектах, хоча потенційні можливості їх досить великі.

Сучасні методи проектування і ведення бурових робіт повинні базуватися на аналітичних методах опису, включаючих в себе аналіз протікання технологічних процесів і синтез на його основі ефективних технологій буріння з оптимальними параметрами. Аналітичний опис процесу буріння на кар'єрах в даний час називається математичним моделюванням. Одним з головних ступенів процесу пізнання є абстрактний опис досліджуваного предмета, процесу чи явища. Часто ці відносні істини і називають моделями.

Сам цей термін латинського походження. Його перше значення було пов'язане з будівельним мистецтвом, і майже у всіх європейських мовах воно вживалося для позначення зразка або речі, подібної в якомусь відношенні з іншою річчю. В. А. Штофф дає наступне визначення: «Під моделлю розуміється в думці або матеріально реалізована система, яка, відображаючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна заміщати його так, що її вивчення дає нам нову інформацію про цей об'єкт» [15].



Рисунок 2.1 – Методи дослідження бурових робіт

Залежно від засобів моделювання моделі поділяються на Матеріальні (предметні) і ідеальні (інформаційні). Матеріальні моделі ґрунтуються на матеріальній аналогії модельованого об'єкта і моделі. Таке моделювання здійснюється за допомогою відтворення основних геометричних, фізичних та інших характеристик досліджуваного об'єкта. Ідеальні моделі засновані на абстрактних, знакових структурах. До них відносяться і математичні моделі, які здійснюються логіко-математичними засобами.

Математичне моделювання для гірських інженерів давно вже не є чимось незвичайним. Ще на початку століття зусиллями таких вчених, як А.М. Скочинський, А.А. Терпігоров, Л.Д. Шевяков, Б.І. Бокий були розроблені і з успіхом застосовані аналітичні моделі для рішення ряду задач при проектуванні, будівництві та експлуатації вугільних шахт [15]. Однак, до появи ЕОМ в переважній більшості випадків застосовувалися найпростіші моделі у вигляді алгебраїчних функцій з невеликою кількістю параметрів, що дозволяють отримати аналітичне або графічне рішення тільки лише для обмеженого кола гірських завдань. В цілому це були прості детерміновані статичні моделі.

З появою ЕОМ в гірничій науці отримали значний розвиток методи економіко-математичного моделювання. Великий внесок у розробку цього напрямку внесли М.І. Агошков, Н.В. Мельников, В.В. Ржевський, А.С. Астахов та інші. Коло розв'язуваних завдань значно розширилося, особливо це стосується оптимізаційних задач. Структура моделей ускладнилася, кількість параметрів значно зросла, були залучені нові оптимізаційні методи, але якісної зміни самих моделей не відбулося - вони як були, так і залишилися детермінованими, хоча і складними, статичними моделями.

Третій період у розвитку математичного моделювання в гірничій науці пов'язаний з розробкою в 70-х роках зусиллями таких вчених, як В.М. Берман, В.Н. Вєрсскунов, В.Н. Гетопанов, В.В. Глушко, А.В. Картавий і інших,

динамічних моделей гірничих машин. На їх базі розроблені більш ефективні типи гірничого устаткування і отримані нові знання про закономірності і створення гірничих машин і устаткування, але не їх оптимальної експлуатації.

Це пов'язано з тим, що в рамках детермінованих, нехай навіть динамічних моделей, описати з прийнятною точністю випадкові дисипативні процеси гірничого виробництва виявилось неможливим.

Наступний крок в удосконаленні математичних моделей в гірничій справі був зроблений в кінці 80-х років коли почали, як в статичних, так і в динамічних задачах широко застосовувати імовірнісні методи. На їх базі розроблено деякі діючі і в даний час інженерні методики. Найбільш раціональним є підхід, пов'язаний з розробкою специфічних моделей гірничого виробництва, зокрема, процесу бурових робіт, на базі загальнонаукових фундаментальних принципів із залученням сучасних прикладних математичних методів.

2.3 Основні наукові принципи при моделюванні процесів гірничого виробництва

2.3.1 Зародження і розвиток ідеї екстремальності дії в природі

Будь-яка математична модель буде тим точніше відображати дійсність, коли на більш універсальних наукових принципах вона базується. Тому вся історія розвитку науки пронизана ідеєю пошуку таких універсальних принципів. Зокрема ідея про те, що явища, які ми спостерігаємо в природі, мають деякі екстремальні властивості, виникла мабуть ще у філософів древньої Еллади [49]. Перше втілення цієї ідеї у вигляді фізичного принципу належить французькому математику П'єру Ферма. У 1629 році він встановив, що світло, поширюючись від однієї точки до іншої, «вибирає» такий шлях, щоб час проходження його виявився мінімальним.

У 1696 році в лейпцигському журналі «Acta Eruditorum» Іоган Бернуллі опублікував завдання по визначенню шляху, спускаючись по якому під впливом власної ваги тіло, почавши рух у верхній точці, дійде до нижньої за найкоротший час. Ця знаменита «задача про брахістохрону» (циклоїду) практично була аналогом принципу Ферма в механіці. Ці роботи дали основний поштовх для пошуку більш загального екстремального принципу руху. Вперше він був, ймовірно, сформульований в листах Лейбніца. Виявилося, що деяка характеристика, яку він назвав «дія» (action), при русі тіла залишається весь час екстремальною. Однак, широкої популярності це формулювання не отримало.

Вважається, що автором, як його назвали пізніше, принципу найменшої дії (principe de la moindre action) є президент Берлінської Академії П'єр Мопертюї. Ще в 1740 році Мопертюї опублікував в мемуарах Паризької Академії роботу, в якій показав, що система матеріальних точок знаходиться в рівновазі тоді, коли сума деяких параметрів екстремальна. Використовуючи цей статичний критерій, а також відомий принцип Ферма, після декількох невдалих спроб Мопертюї у 1746 році сформулював універсальний принцип найменшої дії: «Якщо в природі відбувається якась зміна, то необхідна для цієї зміни міра дії є мінімальною» [16].

Чисто математичне обґрунтування і більш глибокий зміст в цей принцип вніс Ейлер. Він зрозумів, що вираз для дії, запропоноване Мопертюї, придатний тільки для малих ділянок шляху, а для всього шляху треба підсумувати всі малі зміни дії.

$$D = \int_{t_0}^{t_i} mv^2 dt \rightarrow \min \quad (2.15)$$

Надалі цей принцип викликав численні і драматичні суперечки. Завершив його розробку Лагранж. Принцип стаціонарності дії у формі Мопертюї-

Лагранжа стверджує, що справжній рух системи є стаціонарною точкою дії, для якої варіація функціонала D дорівнює нулю, де $D = \int_{t_0}^{t_i} K(q, \dot{q}) dt$, а $K(q, \dot{q})$ - кінетична енергія системи.

У принципі Мопертюї-Лагранжа варіюванню піддаються не тільки траєкторії системи, а й момент приходу в кінцеву точку. Однак у книзі Лагранжа «Аналітична механіка» принцип сформульований не зовсім ясно. Це дало привід для подальших пошуків що і привело Гамільтона, Остроградського. Якобі і Пуанкаре до різних його модифікацій.

Якобі стверджував, що справжній рух є стаціонарною точкою функціоналу:

$$D = \int_{q_0}^{q_1} \sqrt{E - U(q)} \sqrt{K(q, \dot{q})} dt \quad (2.16)$$

на множині всіх траєкторій, що починаються в точці q_0 закінчуються в точці q_1 та задовольняють закону збереження енергії. Тут і $U(q)$ потенціальна енергія; $E = K(q, \dot{q}) + U(q)$ - повна енергія системи.

Гамільтон в 1834 році довів, що для консервативних систем можна не вимагати виконання закону збереження енергії на всіх допустимих траєкторіях, якщо вжити запис у вигляді

$$D = \int_{t_0}^{t_i} (K - U) dt \quad (2.17)$$

Для загального випадку руху аналогічний доказ було зроблено в 1848 році М.В. Остроградським, тому твердження про стаціонарність функціоналу (2.17) для істинної траєкторії руху називають принципом Гамільтона-

Остроградського [4]. Пуанкаре побудував модифікацію стаціонарної дії, в якій дія є функціонал виду

$$D = \int_{t_0}^{t_i} [P\dot{q} - H(P, q)] dt \quad (2.18)$$

Функція $H(p, q)$ називається функцією Гамільтона і представляє перетворення Лежандра функції Лагранжа $L = (q, \dot{q}) = K(q, \dot{q}) - U(q)$ по швидкостям q . Твердження про стаціонарність функціоналу (2.18) для істинної траєкторії руху називають принципом Гамільтона-Пуанкаре [14].

Ці дві останні модифікації принципу найменшої дії і отримали основне поширення в сучасній і в науковій літературі, а вихідне формулювання Мопертюї-Лагранжа практично не зустрічається.

2.3.2. Принцип найменшої дії

Згідно найбільш загальному формулюванні варіаційного принципу найменшої дії, з усіх траєкторій, за якими система могла б перейти з одного стану в інший, в дійсності реалізується тільки траєкторія, що є екстремумом функціоналу

$$D = \int_{t_1}^{t_2} L dt \quad (2.19)$$

або

$$(\delta D)_k = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \delta \dot{q}_k \int_{t_1}^{t_2} + \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial L}{\partial q_k} - \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \right) \delta q_k dt = 0$$

звідки виходять класичні рівняння руху Лагранжа другого роду

$$\frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{\partial L}{\partial q_k} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_k} = Q, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (2.20)$$

При переході до опису руху в чотиривимірному просторі-часі Рімана зі змінною кривизною в загальній теорії відносності (ЗТВ) доводяться наступні положення:

1. Рух здійснюється по так званим геодезичним лініям, що задовольняють рівнянню [17]:

$$\frac{d^2 x^\alpha}{ds^2} + \Gamma_{\mu\nu}^\alpha \frac{dx^\mu}{ds} \cdot \frac{dx^\nu}{ds} = 0 \quad (2.21)$$

де s - інваріантний інтервал в чотиривимірному просторі-часу Рімана;

dx^α диференціал координат подій в сусідніх точках;

$$\Gamma_{\mu\nu}^\alpha = \frac{1}{2} g^{\alpha\sigma} \left(\frac{\partial g_{\sigma\nu}}{\partial x^\mu} + \frac{\partial g_{\sigma\mu}}{\partial x^\nu} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^\sigma} \right). \quad (2.22)$$

Символи Крістоффеля, що виражаються в комбінації перших похідних від метричного тензора простору-часу $g_{\mu\nu}$ (ейнштейнівські гравітаційні потенціали);

2. Рівняння геодезичних ліній [11] може бути отримано з розглянутого раніше варіаційного принципу найменшої дії. Поклавши [28], що функція Лагранжа дорівнює:

$$L = \frac{1}{2} g_{\mu\nu} \frac{dx^\mu}{ds} \cdot \frac{dx^\nu}{ds}, \quad (2.23)$$

Можна записати:

$$\delta \int_A^B ds = \delta \int_A^B L d\lambda = 0, \quad (2.24)$$

де λ -довільний параметр геодезичних ліній, який є лінійною функцією власного часу $\lambda = at_o + b$.

Таким чином, останній вираз є повною аналогією з принципом Гамільтона в нерелятивістській механіці, а отже:

$$\frac{d}{ds} \left(\frac{dL}{dx^\alpha} \right) - \frac{dL}{dx^\alpha} = 0, \quad (2.25)$$

Підставляючи значення, отримаємо:

$$\frac{d^2 x^\alpha}{ds^2} + \Gamma_{\mu\nu}^\alpha \frac{dx^\mu}{ds} \cdot \frac{dx^\nu}{ds} = 0, \quad (2.26)$$

що й потрібно було довести. Нажаль цей диференціальний принцип можна використати тільки для розробки детермінованих моделей, що не завжди достатньо.

2.3.3. Принцип максимальної ентропії

Другим фундаментальним принципом природних наук є принцип максимальної ентропії. Традиційно принцип найменшої дії розроблений і застосовується для детермінованих процесів. При детермінованому русі завдання про переміщення маси в просторі буде вирішене, коли будуть відомі координати тіла (центра ваги) і вектор швидкості

в будь-який момент часу: $x(t), y(t), z(t), vx(t), vy(t), vz(t)$. Однак, при випадковому русі такий опис стає явно недостатнім, тому що можна говорити не про конкретну траєкторію руху маси в просторі, а лише про ймовірність тієї чи іншої траєкторії. У такому випадку процес буде характеризуватися:

- щільністю ймовірності координат траєкторії;
- математичним очікуванням координат;
- дисперсією відхилення координат всіх можливих траєкторій від найбільш вірогідної;
- моментами більш високих порядків;

У зв'язку з цим повну характеристику випадкового процесу отримують двома шляхами:

- логіко-експериментальним, що пов'язано з великим обсягом статистичних спостережень або досліджень ;
- аналітичним.

Загальноприйнятою інтегральною оцінкою невизначеності процесу, пов'язаної з його ймовірністю, є ентропія

$$H(x) = - \int p(x) \ln p(x) dx, \quad (2.27)$$

де $p(x)$ - щільність ймовірності координати x .

Виявилося, що при випадковому русі маси в просторі в дійсності буде така траєкторія, яка відповідає максимальній ентропії. Ця умова і називається принципом максимуму ентропії (принципом Джейнса).

Для вирішення поставленої екстремальної задачі застосовується метод невизначених множників Лагранжа. Математичний запис складається з критерію мети:

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \ln p(x) dx \rightarrow \max \quad (2.28)$$

і обмежень:

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = 1; \quad (2.29)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x) dx = \sigma_x^2. \quad (2.30)$$

Вигляд обмежень та їх кількість залежить від конкретних умов завдання. Функція Лагранжа першого роду для дослідження на екстремум при зазначених обмеженнях має вигляд:

$$F(x) = -p(x) \ln p(x) + \lambda_1 p(x) + \lambda_2 x^2 p(x), \quad (2.31)$$

де λ_1 і λ_2 - невизначені множники Лагранжа. Для дослідження цієї функції на максимум продиференціюємо її по $p(x)$ і результат прирівняємо до нуля:

$$\frac{\partial F(x)}{\partial p(x)} = -\ln p(x) - \ln e + \lambda_1 + \lambda_2 x^2 = 0 \quad (2.32)$$

Розв'язуючи це рівняння щодо щільності ймовірності з урахуванням обмежень, отримаємо:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma_x}} e^{\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}. \quad (2.33)$$

Отже, при заданій дисперсії ентропія максимальна, коли можливі значення змінної x розподілені по гаусівському центрованому закону. При

відомому розподілі математичне очікування і дисперсія можуть бути визначені по залежностям:

$$m_x = x = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot p(x) dx, \quad (2.34)$$

$$D_x = \sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot p(x) dx. \quad (2.35)$$

При інших обмеженнях (початкових умовах) отримаємо інші типи розподілів.

На підставі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

1. Для випадкових процесів принцип найменшої дії і математична модель процесу у вигляді диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду незастосовні.

2. Під математичною моделлю випадкового процесу будемо розуміти щільність розподілу ймовірності координат процесу і відповідні статистичні моменти.

3. Щільність ймовірності і інші характеристики випадкового процесу визначаються, виходячи з принципу максимальної ентропії.

4. При невідомих значеннях обмежень або при нестационарних випадкових процесах принцип максимальної ентропії незастосовний.

2.3.4 Принцип дуальності при русі маси в просторі

Дослідження закономірностей руху тіл в просторі показали, що детермінований рух і його математична модель є тільки першим наближенням дійсного руху, яке прийнято називати випадковим (ймовірнісним, стохастичним). Досвід показує, що описати нестационарний випадковий рух маси, спираючись на принцип найменшої дії або максимальної ентропії, неможливо. Таку можливість дає принцип дуальності при русі маси в просторі [18].

Рух маси в просторі відбувається під впливом коливань ефіру (енергетичного вакууму) зі збереженням повної дії по траєкторії з максимальною внутрішньою дією і мінімальною зовнішньою.

Зміна стану простору ми розглядаємо як набір відомих і невідомих полів. Характеристики та конфігурація кожного з полів найчастіше невідомі, але побічно їх сукупний вплив на траєкторію руху маси може бути оцінений ймовірнісною характеристикою.

Тоді будь-який нестационарний випадковий процес повинен описуватися:

- рівняннями руху маси в просторі;
- рівняннями зміни стану простору під впливом маси що рухається та інших рухомих мас і полів, тобто рівняннями ймовірності траєкторії руху.

Принцип найменшої дії дозволяє отримати рівняння, що описують траєкторію тільки детермінованого руху.

Принцип максимальної ентропії розширює можливості аналітичного опису на випадкові стаціонарні процеси. Але для опису нестационарних випадкових процесів використовується принцип дуальності при русі маси в просторі.

2.5 Методика моделювання процесу буріння свердловин на кар'єрі

Дана методика базується на загальнонаукових фундаментальних принципах із залученням сучасних математичних методів.

Модель будь-якої фізичного або технологічного процесу може, в кінцевому підсумку, розглядатися як зміна енергетичного стану частинок речовини, яка бере участь в процесі зі зміною основних параметрів їх руху в просторі. Переміщення часток в просторі характеризується двома типами

руху: стаціонарним і нестаціонарним. Стаціонарний рух характеризується обертанням частинок по стаціонарних орбітах. Нестаціонарний рух пов'язаний з переміщенням самих орбіт часток в просторі. На макрорівні стаціонарний рух елементарних часток сприймається як тіло у стані спокою певної маси, а нестаціонарний як звичайне переміщення маси в просторі. Моделі технологічних процесів гірничого виробництва відносяться до моделей штучного середовища, створеного людиною. Зазвичай об'єкт математичного моделювання включає в себе: предмети праці, знаряддя праці, енергію, людей, інформацію необхідну для управління процесом. При цьому необхідно відзначити дві характерні ознаки об'єкта моделювання. У системі створюються штучні канали, за якими в систему надходять і розподіляються в ній енергія та імпульси. У систему надходить або в ній постійно знаходиться певний обсяг інформації, що робить процес більш певним і керованим.

Енергія витрачається на різні фізичні процеси в системі, але, найчастіше, тільки один або декілька процесів є основними з точки зору мети виробництва, решта каналів (процеси) служать для передачі енергії основних процесів з певним рівнем ККД. Інформація використовується на створення і підтримання в працездатному стані самих каналів енергії і на управління матеріальними і енергетичними потоками з допомогою знарядь праці. У будь-якому технологічному процесі можна виділити як мінімум три характерних стадії або стани.

Стан роботи. Цей стан є основним, так як заради нього і створювався технологічний ланцюжок. З огляду на те, що для стану "робота" необхідно безперервно подавати енергію E_o , то цей стан можна охарактеризувати як стан нестійкої рівноваги, який зберігається до тих пір, поки припинення подачі енергії (виключення) або поломка обладнання не переведе модельовану систему в новий неробочий стійкий стан з енергією $E_i < E_o$ (рис. 2.2).

Стан простою (подача енергії відсутня). Машина або вся система в цьому стані справна, але не працює за технологічних або організаційних причин. Цей стан стійкий і енергетично найвищий з усіх стійких станів. Для перекладу системи в початкове стійке робоче становище досить подати енергію $E_i + \Delta E = E_o$.

Стан відмови. В цьому випадку в систему також не подається енергія, але причина зупинки полягає в поломці того чи іншого вузла системи. Таких станів може бути багато, всі вони стійкі але різняться величиною енергетичних рівнів та бар'єрів. Будь-який технологічний процес можна представити як сукупність раніше розглянутих стійких станів системи і переходів між ними. Така система зображується у вигляді графіків станів з відповідними інтенсивностями переходів.

Для аналітичного опису процесів, які відбуваються в кожній ланці системи, використовуються математичний апарат і рівняння, отримані раніше. Відповідно до цього принципу будь-який канал, по якому відбувається передача енергії в системі описується двома типами рівнянь.

Перше рівняння є рівнянням Гамільтона-Якобі і описує всі можливі набори траєкторій маси m що рухається в просторі:

$$\frac{\partial D}{\partial t} = - \left[\frac{(\nabla D^2)}{2m_i} + U_i \right] + R_i, \quad (2.48)$$

де ∇D - імпульс;

R_i -енергія дисипації;

$\frac{(\nabla D^2)}{2m_i}$ - кінетична енергія;

U_i - потенціальна енергія.

Друге рівняння описує щільність ймовірності координат кожної з траєкторії руху тіла масою в просторі

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = \frac{D_i}{2m_i} \nabla^2 p_i + \frac{\nabla D_i}{m_i} \nabla p_i + \frac{U_i}{D_i} p_i \quad (2.49)$$

де p_i - щільність ймовірності процесу в будь-який момент часу, пов'язана із заданою щільністю ймовірності початкового стану виразом:

$$P_i(q, t) = \int_{-\infty}^{\infty} P(q_o, t_o)(i) \left(q, \frac{t}{q_o}, t_o \right) dq_o \quad (2.50)$$

$P_i(q_o, t_o)$ є щільністю ймовірності в стійкому початковому стані.

Тоді останнє диференціальне рівняння розпадається на два. Перше описує ймовірність переходу з цього стійкого стану в будь-яке інше, а друге - ймовірність початкового стану. З огляду на те, що каналів розподілу енергії кілька, то і рівняння Гамільтона-Якобі повинні бути багатовимірні:

$$\frac{\partial D_i}{\partial t} = -H_i + \sum_{k=1}^n R_{ik}, \quad i = I \dots m \quad (2.51)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \sum_{i=1}^n a_i \frac{\partial p}{\partial q_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial q_i \partial q_j} \quad (2.52)$$

де D_i -дія;

H_i -функція Гамільтона;

R_{ik} - функція опору (дисипації енергії);

p - n -мірна щільність,

a_i – коефіцієнт зносу,

b_{ij} – коефіцієнт дифузії.

Останнє рівняння з урахуванням стійкості станів розпадається на рівняння переходів та рівняння стійких станів.

$$\frac{\partial \omega_{ij}}{\partial t} = a_i \frac{\partial \omega_{ij}}{\partial q_i} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot \frac{\partial \omega_{ij}}{\partial q_i \partial q_j}; \quad (2.53)$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^n p_i \lambda_{ij} \quad (2.54)$$

Перша система з n рівнянь (2.51) описує траєкторію руху мас при переході з одного стійкого стану в інше і являє собою систему рівнянь Гамільтона-Якобі.

Тут $H_i = T_i + U_i$ -функція Гамільтона;

R_{ik} -дисипативна функція.

Остання функція, як правило, є випадковою. Скоротивши рівняння Гамільтона-Якобі на імпульс, отримаємо класичні диференціальні стохастичні рівняння [19]:

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} = -f(q, t) + \sum_{k=1}^n q_{ik}(t) n(t), \quad (2.55)$$

$f(q, t), q_{ik}(t)$ - коефіцієнти;

$n(t)$ -випадкові процеси дифузійного типу з нульовим математичним очікуванням.

Коефіцієнти зносу і дифузії виражаються через вихідні коефіцієнти наступним чином

$$a_k(q, t) = f_k(q, t) b_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n N_k q_{ik}(t) q_{ij}. \quad (2.56)$$

Необхідно відзначити, що рівняння Лагранжа II-го роду, а також рівняння Ньютона повністю еквівалентні рівнянню Гамільтона-Якобі (2.53) і можуть їх замінити. Розв'язок будь-якого з цих рівнянь дасть залежність радіус-вектора або координат траєкторії руху маси від часу $q_i(t)$. Це рівняння використовується в тому випадку, якщо в модельованій системі є переходи з одного енергетичного стану в інший.

Другий тип рівнянь (2.53) є параболічними диференціальними рівняннями. Вони описують ймовірність переходу з одного енергетичного стану в інший і розв'язувати їх необхідно спільно з (2.51), так як, якщо перші дозволяють визначити залежність координат маси від часу при переході, тобто траєкторію, то другі - щільність ймовірності цієї траєкторії в просторі. Спільне вирішення рівняння (2.51) і (2.53) дає:

- залежність шуканих координат маси, що рухається, від часу.
- дозволяє визначити математичне очікування координат траєкторії переходу маси в просторі;
- дисперсію відхилення траєкторії переходу від найбільш вірогідної.

В цілому отриманий комплекс трьох систем рівнянь (2.51), (2.53), (2.55) дозволяє повністю змодельовати за допомогою математичних методів процес буріння на кар'єрах.

Висновки до розділу 2

1. В даний час при проектуванні і веденні бурових робіт на кар'єрах використовуються традиційні інженерні логіко-інтуїтивні методи, що не дає універсальних рішень і не гарантує захист від значних помилок. Для усунення цих недоліків необхідно використовувати в проектуванні науково обґрунтовані аналітичні методи, що дозволяють отримати рішення близькі до оптимальних і уникнути принципових помилок як в проекті, так і в виробничих умовах.

2. Сформульований принцип дуальності маси в просторі дозволяє аналітично описати випадкові нестационарні процеси, в тому числі випадкові стаціонарні і детерміновані, як окремі випадки.

3. Процеси бурових робіт є випадковими нестационарними дисипативними процесами, а отже, спираючись на принцип дуальності, вимагають розробки відповідного аналітичного апарату, що дозволяє отримати адекватний опис даних процесів.

4. Запропонована методика моделювання базується на положеннях принципу дуальності руху маси в просторі. Будь-який з процесів бурових робіт описується комплексом рівнянь Лагранжа, ФПК, Маркова-Колмогорова, що дозволяє розробити адекватну математичну модель. Результатом розв'язку рівняння ФПК є нестационарна щільність ймовірності координат траєкторії руху маси в просторі.

На основі цих результатів визначаються:

- координати найбільш ймовірної траєкторії:

$$\bar{q}_i = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(q_i, t) \cdot q_j dq_i \quad (2.55)$$

- дисперсія координат інших траєкторій відносно найбільш ймовірної:

$$\sigma^2(q_i) = \int (q_j - q_i)^2 \omega(q_i, t) \cdot dq_i \quad (2.56)$$

- вірогідність стійких станів системи.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ПРИ БУРІННІ ШАРОШКОВИМ ДОЛОТОМ

3.1 Конструктивні особливості і характеристики бурових верстатів, як область дослідження

Конструкцію та характеристики бурових верстатів розглянемо на прикладі верстата 2СБШ-200-32 . Цей верстат призначений для буріння вертикальних та похилих свердловин в породах середньої міцності та міцних, є модернізованою моделлю верстата 2СБШ-200Н. Зміні піддалася конструкція ходової частини, рама верстата, редуктор лебідки підйому бурового става і механізм згвинчування долота. Гусеничний хід уніфікований з гусеничним ходом екскаватора Е -1252. Гусеничні візки мають індивідуальний привід від електродвигуна через бортовий редуктор. Щогла являє собою зварену просторову ферму. Її підйом в робоче вертикальне або похиле положення, і опускання здійснюються за допомогою двох гідроциліндрів. Несуча рама платформи має два передніх та один задній гідродомкрати для горизонтування верстата. До щогли на кронштейнах кріпиться пристрій (касета) секторного типу, призначенна для розміщення чотирьох штанг діаметром 180 мм і довжиною 8 м . До передньої частини мачи прикріплений швелер, по якому переміщається каретка вертюга, через який по обертових штангах подається стиснене повітря. Штанги з свердловини піднімаються за допомогою канату 6 (Рис. 3.2). Операції по горизонтуванню верстата, підйому щогли в робоче положення або опускання в транспортне положення, захоплення і підйому бурового става кулачками гідропатрона, подачі бурового інструменту, повороту касети при складанні і розбиранні бурового стану, розгвинчування штанг і долота, здійснюються гідросистемою верстата. Гідросистема верстата має маслостанцію з лопатевим насосом.

3.2 Енергетичний баланс процесу буріння

У бурінні гірського масиву шарошкове долото бере участь в поступальному і обертальному русі. В результаті конкретна точка на долоті (скажімо, вершина твердосплавного штиря) - переміщається в просторі по досить складній траєкторії. Поступальний рух долота забезпечується гідравлічним механізмом подачі вращателя на забій. Механізм складається з двох гідроциліндрів, тиск масла в надпоршневій порожнини яких постійно по величині, а тиск масла в підпоршневу порожнини може змінюватися за допомогою регулюючого дроселя.

Для додавання долоту обертального руху застосовується система генератор-двигун.

Енергія, що підводиться з електричної мережі витрачається на процес буріння і може бути представлена наступними складовими:

$$E = T + U + \Delta E + R \quad (3.3)$$

де E - повна енергія, поступає з електричної мережі;

T - кінетична енергія рухомих частин системи;

U - потенційна енергія системи;

ΔE - втрати енергії в системі;

R - дисипативна частина енергії, яка пішла на руйнування гірського масиву долотом.

3.2.1 Кінетична і потенціальна енергія системи

Кінетична енергія системи обумовлена поступальним рухом маси "бурового снаряду" m і обертовим рухом обертача і відповідного приводу з моментом інерції:

$$T = m \frac{V^2}{2} + I_2 \omega^2, \quad (3.4)$$

де V - швидкість подачі бурового става на забій;

m - маса бурового става;

I - момент інерції обертаючої частини бурового става;

ω - кутова частота обертання обертача верстата.

Потенціальна енергія бурового става складається з енергії пружних деформацій і енергії сили тяжіння.

$$U = U_\partial + U_g, \quad (3.5)$$

Пружність конструкції призводить до виникнення високочастотних крутильних і лінійних коливань обертача. З технологічної точки зору цікава тільки постійна складова швидкості буріння і її низькочастотні змінні складові, на які гнучкість конструкції позначається незначно. У зв'язку з цим за повну потенційну енергію системи можна прийняти енергію сил тяжіння:

$$U \approx U_g$$

3.2.2 Енергія впливу виконавчого органу бурового верстата на забій гірської породи

Так як виконавчий орган бурового верстата бере участь в поступальному і обертальному русі, розглянемо енергію, передану забою від поступального руху. Зусилля подачі, створюване гідроциліндрами:

$$P = P_n + P_c + P_{тр} \quad (3.5)$$

де P_n - напірне зусилля гідроциліндрів;

P_c - сила гідравлічного опору, створювана тиском масла а підпоршневу порожнину гідроциліндрів;

$P_{тр}$ - сила тертя, що виникає на ущільненнях штоків і поршнів гідроциліндрів.

Напірне зусилля від двох гідроциліндрів (Рис. 3.4) визначається за виразами:

$$P_n = 2p_n S_{ц} \quad (3.6)$$

де p_n - тиск масла в напірної порожнини гідроциліндрів;

$d_{ц}$ - діаметр циліндра;

$d_{ш}$ - діаметр штока.

Силу тертя, що виникає на ущільненнях штоків і поршнів гідро-циліндрів, можна прийняти постійною за величиною і пропорційної напору зусиллю [27]:

$$P_{тр} = \mu P_n \quad (3.8)$$

де μP_n - коефіцієнт тертя.

Потужність обертача визначається за виразом:

$$N_{\omega} = M \cdot \omega \quad (3.9)$$

де M - обертальний момент на обертачі, Н·м (рис. 3.5);

ω - кутова швидкість обертача, рад / с.

Для різних типів приводів ця залежність наведена на рис. 3.6.

Сила впливу обертача на забій, обумовлена обертальним моментом системи генератор-двигун, визначається за виразом:

$$P_{\omega} = \frac{M}{h_{\text{в}}} \quad (3.10)$$

де M - момент на валу обертача;

$h_{\text{в}}$ - глибина впровадження шарошки в породу за один оборот.

Повне зусилля впливу виконавчого органу на забій з урахуванням розглянутих зусиль і ваги :

$$P_3 = P + mg + P_{\omega} \quad (3.11)$$

Ефективність руйнування масиву гірських порід шарошковим долотом визначається енергією, переданої породі при кожному ударі зуба (штиря) шарошки. Робота удару зуба шарошки визначається з умов потенційної можливості її при перекочування її по руйнуванні поверхні [54]. Амплітуда коливання долота уздовж осі свердловини визначається рівнянням:

$$h_{\text{в}} = r \left(1 - \cos \frac{\gamma}{2} \right) \quad (3.12)$$

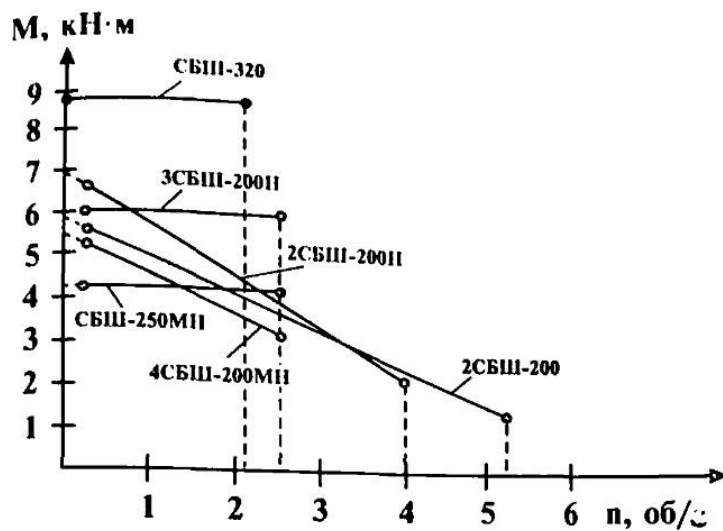


Рис. 3.5 – Залежність крутного моменту від частоти обертання бурового інструменту

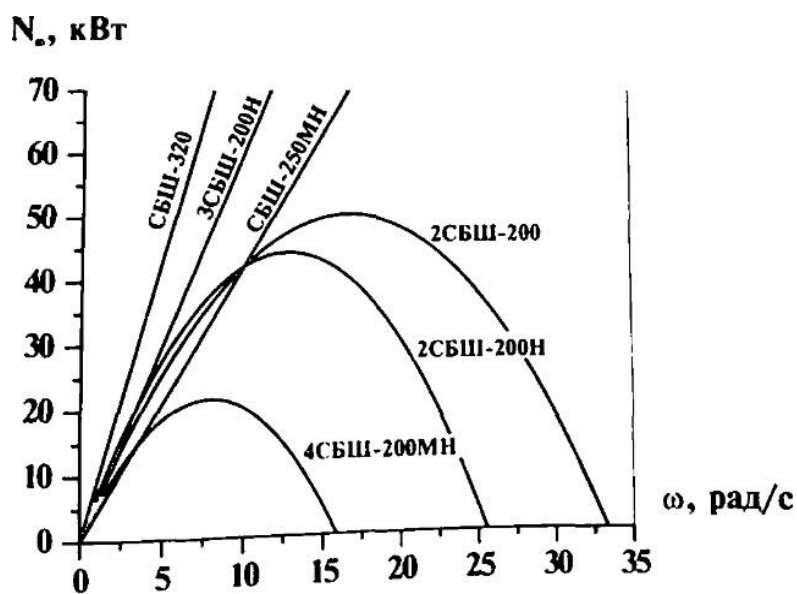


Рис 3.6 – Залежність потужності на валу від кутової швидкості обертача

$$h_{\text{в}} = r' \left(1 - \cos \frac{180}{\zeta_0}\right) \sin \beta \quad (3.13)$$

Для розрахунків радіусу слід застосувати рівняння [26]:

$$r' = \frac{2}{3} R = \frac{d_{\text{ш}}}{3} \quad (3.14)$$

Робота удару долота визначиться по виразу:

$$A_3 = P_3 \frac{d_{\text{ш}}}{3} \left(1 - \cos \frac{180}{\zeta_0}\right) \quad (3.15)$$

Кількість діаметральних ударів визначається з виразом:

$$Z = \frac{m}{2} \cdot \frac{d}{d_{\text{ш}}} Z_0 n \quad (3.16)$$

де m - кількість шарошок;

d - діаметр свердловини;

$d_{\text{ш}}$ – діаметр шарошки основи конуса;

n - кількість оборотів вращателя в хвилину;

Приймаючи до уваги, що потужність, що передається забою, визначається за виразом:

$$n = \frac{\pi \omega}{30}$$

Кінцеве рівняння для роботи шарошкового поршня визначається за виразом:

$$A_3 = \int \left[P + mg + \frac{M}{h} \right] \cdot h \cdot \omega \cdot dt \quad (3.17)$$

3.2.3 Енергія руйнування гірської породи шарошковим долотом

При вивченні напруженого стану під зубом шарошки вплив на цю зону сусідніх зубні (штирів) шарошки можна не враховувати, так як воно незначно і їм можна знехтувати. Впровадження штиря в породу приходить до утворення двох областей, які відповідають різним фізичним станам породи.

У першій області гірська порода являє собою тонко подрібнену дисперсне середовище, яка не здатна передавати незруйнованої частини породи значні дотичні напруження, а передає лише нормальний тиск. Це пояснюється тим, що глибина руйнування породи завжди більше глибини впровадження штиря.

У другій області поряд з стисканням тиску виникають і розтягують, які призводять до появи відколів частинок гірської породи. При цьому робота витрачається як на пружні деформації, так і на руйнування з подальшим її подрібненням.

В результаті одиничного акту впровадження робочого штиря або зуба в гірську породу на поверхні останньої утворюється поглиблення, зване лункою виколи. Після вдавнення штиря на дні лунки виколи утворюється щільно спресоване ядро з тонко подрібнених і сильно ущільнених породних лусочок (рис.3.9) Фактична глибина викопа або глибина руйнування h , зазвичай перевищує глибину впровадження штиря.

Для встановлення залежності між об'єктом (глибиною) руйнування і глибиною впровадження штиря шарошки використані результати експериментів, наведені в роботі [2]. При зміні глибини впровадження штиря шарошки змінюється не тільки глибина руйнування, а й обсяг руйнування, який залежить і від величини взаємодії сусідніх штирів. Як приклад на рис.3.10 приведені контури лунок виколи, отримані при різній глибині руйнування шарошкою діаметром 96 мм. оснащеної твердо

сплавними штирями діаметром 5 мм зі сферичною головкою, встановлених з кроком 12,6 мм. При малих глибинах руйнування ($h < 1,11$ мм) контури лунок трохи витягнуті від напрямку переміщення шарошки і форма їх значно відрізняється від кола. З збільшенням глибини виколи сусідні лунки поступово зливаються (1.35 мм). Форма лунок виколи значно відрізняється від конічної зі змінним кутом розвороту, що свідчить про імовірнісний характер процесу руйнування. При дуже малій глибині впровадження штирів в породу, коли напруга, що виникають в зоні контакту робочого елемента з породою, ще не перевищили межі міцності, глибина руйнування дорівнює глибині впровадження (рис. 3.11). при поступовому збільшенні глибини впровадження штирів в гірську породу настане момент, коли контактний тиск перевершить деяку критичну для даної породи величину. Це викличе руйнування на глибину, істотно перевищує глибину впровадження штирів. Для цього моменту характерна максимальна різниця між значеннями h м h_b , - Потім зі збільшенням глибини впровадження зростає і глибина руйнування, однак інтенсивність росту останньої поступово знижується, стаючи приблизно постійною і рівною інтенсивності швидкості впровадження, тобто відношення (рис. 3.11). Результати вимірів для пісковиків, гранітів, вапняків і руд дозволяють встановити співвідношення $h/h_b \rightarrow 1$:

$$h = h_b + h_{max} \left(1 - e^{-\frac{h - h_0}{\lambda}} \right) \quad (3.18)$$

Глибина руйнування, яка визначається за останньою формулою, є середнім значенням, а конкретні значення при кожному досвіді є випадковою величиною з відповідними параметрами (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Парметри глибини руйнування гірської породи

Порода	h_0 , мм	h , мм	σ %
Вапняк	3,08	3,64	8,2
	3,64	4,56	9,2
Пісковик	2,31	3,18	11,3
	3,04	3,56	11,6
Мармур	0,52	1,10	24,5
	1,22	1,87	15,0
	3,12	3,78	8,5

3.3 Аналіз результатів дослідження процесу руйнування гірської породи при шарошковому бурінні

Проведені математичні моделювання як процесу руйнування гірської породи шарошечні долотом, так і процесу видалення бурової дрібниці зі свердловини, дозволили встановити основні закономірності і залежності для цих найважливіших технологічних процесів.

З огляду на те, що параметри режиму буріння (h , ω , V , P_σ) є випадковими величинами, в подальшому в математичних залежностях мається на увазі їх математичне очікування, тобто середнє значення визначається по одній з залежностей, отриманих в результаті математичного моделювання.

Зазвичай регульованими параметрами процесу буріння вважаються кутова швидкість обертача і осьове зусилля подачі P , маючи на увазі їх незалежними. Однак процес руйнування породи відбувається під впливом як осьового переміщення шарошечного долота, так і під впливом обертального переміщення шарошок. Тому параметри і повинні бути взаємозалежними. Зі збільшенням зусилля P навантаження на привід обертача зростає, що в свою чергу, призводить до зниження кутової

швидкості обертача і збільшення частки великих фракцій в буровій дрібниці.

Однак на практиці такий параметр як h важко заміряти і контролювати, тому доцільніше використовувати такий параметр, як поточне середнє значення швидкості буріння

На окрему увагу заслуговують енергетичні показники буріння і вплив на них міцності, конструктивних кінематичних і інших параметрів.

Потужність, що підводиться до забою і витрачається на руйнування породи, є найважливішим параметром бурового верстата і процесу буріння в цілому. Величина потужності, що споживається з мережі приводом обертача визначається виразом:

$$N_{\sigma} = N_0 + N_p, \quad (3.19)$$

де, N_0 - потужність холостого ходу обертача;

N_p - потужність, яка передається шарошковим долотом гірській породі.

Потужність холостого ходу залежить від моменту інерції всієї системи і від швидкості обертання кожної деталі, яка бере участь всієї системи і від швидкості обертання кожної деталі, яка бере участь в обертальному русі. Момент інерції наводиться як правило до обертач. Зміни виконуються на верстатах СБШ-250МН і СБШ-320 при $n = 120$ об / хв, показали, що при висоті бурового става відповідно 16 і 19 м витрата потужності при холостому ході становить 8 ... 10 і 18 ... 22кВт. Так як швидкість буріння є головною характеристикою верстата, необхідно розглянути можливості її збільшення за рахунок зміни величини потужності, що підводиться до забою. При бурінні верстатами 2СБШ-200 в породах різної міцності і тріщинуватості величина споживаної потужності при звичайних умовах і режимах $P = 150 \dots 200$ кН, $n =$

80. 120 об / хв) коливалася від 15 до 40 кВт з математичним очікуванням близько 30 кВт [46]. Показник енергоємності буріння e_σ цікавий як сам по собі так і тим, то він пов'язаний з енергоємними руйнування гірської породи який дає можливість кількісно оцінювати властивості міцності буримой породи.

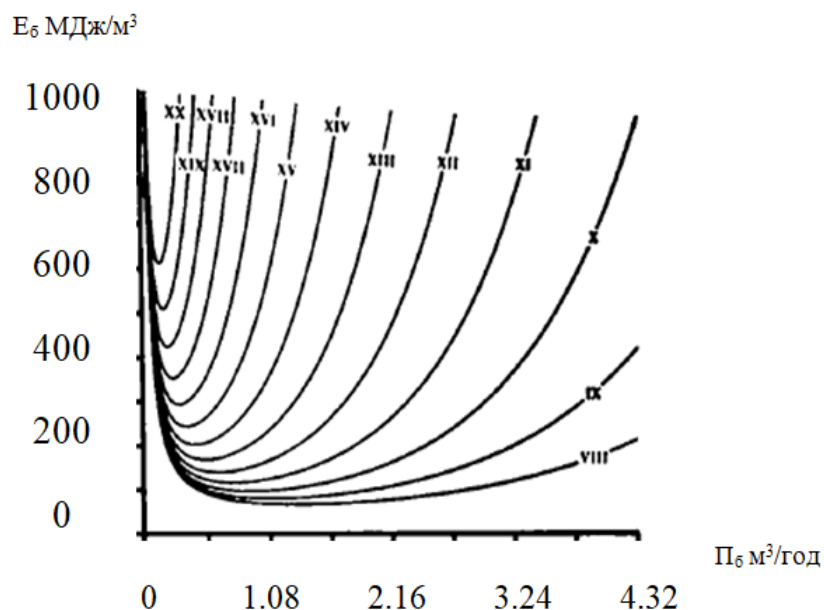


Рисунок 3.7 – Залежність енергоємності буріння від виробничої потужності верстату для різних категорій порід

Зіставлення розрахункових оцінок і отриманих шляхом вимірів дозволило встановити енергоємність для кожної категорії гірських порід за класифікацією Центрального бюро промислового нормативів з праці (ЦБПНТ). У цьому випадку зазначена класифікація гірських порід базується на об'єктивному фізичному критерії, який піддається виміру в конкретних умови, і є досить інформативною величиною, а також дозволяє об'єктивно оцінювати здатність гірської породи до руйнування буровим інструментом. Встановлена залежність енергоємності буріння породи від продуктивності буріння свідчить про її екстремальному характері, тобто існують такі параметри буріння P і s ,

при яких енергоємність буде мінімальна (рис.3.7). Експериментальні виміри підтверджують цю залежність.

Енергія, яка підводиться до поверхні гірського масиву, характеризує конструктивні особливості бурового верстата, інструменту та режим буріння. Найзручніше оцінювати її ККД, який змінюється при зміні продуктивності буріння. Ця залежність також носить екстремальний характер, причому максимуму ККД відповідає мінімум енергоемності (рис.3.7). Ця закономірність характерна для гірських порід всіх категорій.

Висновки до розділу 3

1. Процес буріння розглядається як сукупність двох основних процесів: руйнування гірської породи робочим інструментом, транспортування повітряним струменем бурової дрібниці по свердловині із забою на поверхню. Для кожного з процесів розглянута імовірнісна, нестационарна модель.

2. Модель процесу руйнування гірської породи шарошечним долотом являє собою сукупність рівнянь Лагранжа другого роду які описують набір можливих траєкторій руху інструменту, рівняння ФПК, які дозволяють оцінити ймовірність кожної з можливих траєкторій.

3. Рішення отриманих рівнянь дозволили встановити що потужність споживана обертач бурового верстата екстремально залежить від потужності буріння;

4. Питома енергоємність буріння для конкретної гірської породи екстремально залежить від продуктивності буріння; оптимальне значення продуктивності буріння відповідає мінімальному значенню питомої енергоемності буріння.

5. Математична модель процесу транспортування бурової дрібниці по

свердловині дозволяє розрахувати витрати повітря, а отже, і енергію на процес очищення свердловини дисперсійного складу бурової дрібниці.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОРИСТАННЯ В ЧАСІ БУРОВИХ ВЕРСТАТІВ ТИПУ СБШ

4.1 Основні операції і баланс часу роботи верстатів типу СБШ

Управління верстатом в процесі буріння включає: підготовчі роботи, складання бурового става, буріння, розбирання бурового става, заміну бурового інструменту та інші операції.

Коефіцієнт використання в часі бурового верстата визначає тривалість частини робочої зміни, в перебігу якої проводиться буріння породи. Розраховується він як відношення сумарної тривалості часу буріння за зміну до тривалості зміни.

Коефіцієнт використання в часі, поряд зі швидкістю буріння верстата, є основним комплексним параметром, що оцінює надійність бурового обладнання, ефективність технологічної схеми і організації бурових робіт. Знання основних закономірностей формування і вміння його розрахувати є необхідними умовами при нормуванні та плануванні бурових робіт, при визначенні раціональних режимів роботи бурового обладнання.

Вихідним матеріалом для аналізу роботи бурових верстатів у часі послужили дані хронометражних спостережень і звітності. Їх аналіз показав, що в довільний момент часу верстат може знаходитись в стані роботи або простою. Ці стани є випадковими, так як залежать від сукупного впливу великого числа чинників, що діють незалежно один від одного несумісні і складають повну групу подій. Моменти переходу з одного стану в інший утворюють випадковий альтернируючий процес відновлення Пуассона [13, 26, 35, 52].

Для визначення закону розподілу напрацювання на відмову бурового верстата СБШ-250 за даними хронометражних вимірів [27] будується гістограма (рис. 4.1, б). Гістограма розподілу напрацювання на відмову зображує диференційний закон розподілу випадкової величини. По виду

гістограми можна зробити припущення, що закон розподілу напрацювання на відмову - експонентний.

А)

Б)

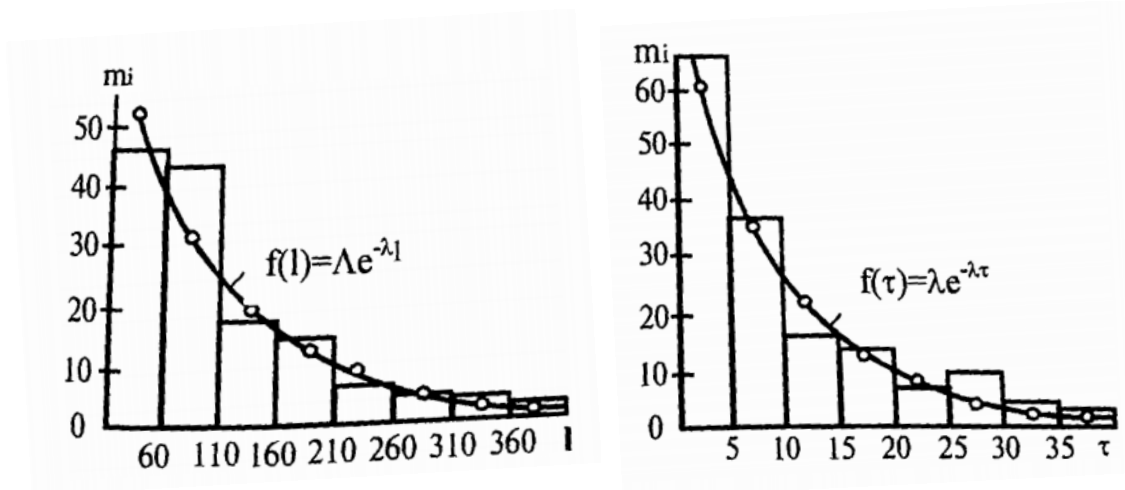


Рисунок 4.1 – Гістограма і крива напрацювання на відмову в пог.м (а) і часу відновлення в годинах (б).

Тривалості стану безперервної роботи і простою бурового верстата матимуть експоненціальні функції розподілу ймовірностей:

$$f(\tau) = \lambda \exp\{-\lambda\tau\}; \quad (4.1)$$

$$f(\Theta) = \mu \exp\{-\mu\Theta\}, \quad (4.2)$$

де τ - час безперервної роботи бурового верстата;

Θ - час простою верстата;

$\lambda = (\bar{\tau})^{-1}$ - інтенсивність напрацювання на відмову;

$\mu = (\bar{\Theta})^{-1}$ - інтенсивність відновлення.

Повний час роботи бурового верстата накопиченим підсумком з початку зміни складається з окремих випадкових періодів часу безперервної роботи τ_1 . Тоді сума з n таких періодів за зміну також буде величиною випадковою з гамма-розподілом щільності ймовірності:

$$f(t_p) = \Gamma^{-1}(n) (\lambda t)^{n-1} \lambda \exp \{-\lambda t\}, \quad (4.3)$$

де $\Gamma(n)$ - гамма-функція від n [30].

Основною ознакою, що характеризує функціонування виробничого процесу, є час виконання основних операцій, виконання допоміжних операцій, простою процесу з організаційних причин, простою процесу з технічних причин, регламентованих перерв.

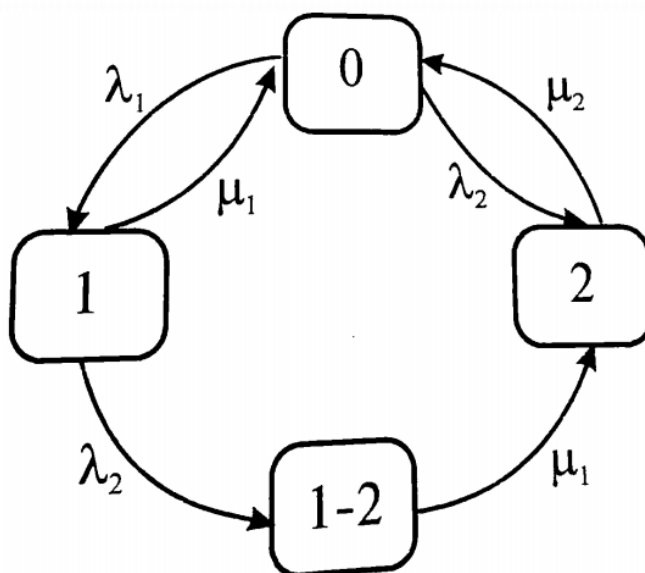


Рисунок 4.7 – Граф станів системи "забій"

4.2. Аналіз і класифікація причин простоїв бурових верстатів типу СБШ

В ідеальному випадку робота верстата представляється як безперервне відділення гірської породи в забої свердловини з максимальною інтенсивністю і тільки в кінці циклу допускаються регламентовані перерви. Їх наявність пов'язана з виконанням допоміжних операцій - заміни та нарощування бурового става, змащування окремих елементів та вузлів, ремонтно-профілактичних робіт. Однак на практиці можливі зупинки верстата протягом циклу і з інших причин. Будь-яка класифікація простоїв бурового верстата в якійсь мірі умовна і потрібна лише для спрощення реальної ситуації при моделюванні. З іншої точки зору класифікація повинна бути досить детальною, та не громіздкою і логічно несуперечливою. З огляду на це, всі простої верстата можна розділити на дві підсистеми (рис. 4.6.). Ці обидві підсистеми повинні врахувати простої по внутрішньо-участковим причинам. Дільничні простої, в свою чергу, необхідно розділити на перерви і відмови. Дільничні відмови різні за характером. Розподіл дільничних простоїв на дві підсистеми викликано тим, що для деяких процесів і обладнання напрацювання на відмову відбувається тільки під час роботи верстата, тобто на машинному часі. Інша група обладнання працює і відмовляє незалежно від стану бурового верстата, тобто на безперервному календарному часі. В роботі [19] прийнято необмежене відновлення відмов, тому що кількість працюючих обмежена і можливий випадок, коли при усуненні першої відмови з'являється наступний. При цьому утворюється черга на обслуговування. Для спрощення ситуації приймемо, що одночасно відновлюється тільки одна відмова.

Значну частку в загальному балансі робочого часу займають перерви, які можна розділити на організаційні та технологічні. Організаційні перерви (підготовчо-заклучні операції, відпочинок та інші) зазвичай регламентовані в

часі і поява їх не залежить від того, працює буровий верстат чи ні, тобто вони виникають на безперервному календарному часі.

На відміну від організаційних, технологічні перерви можуть виникати тільки після виконання верстатом певного обсягу роботи з буріння породи. Як бачимо, організаційні та технологічні перерви можна розглядати як різновид дільничних відмов.

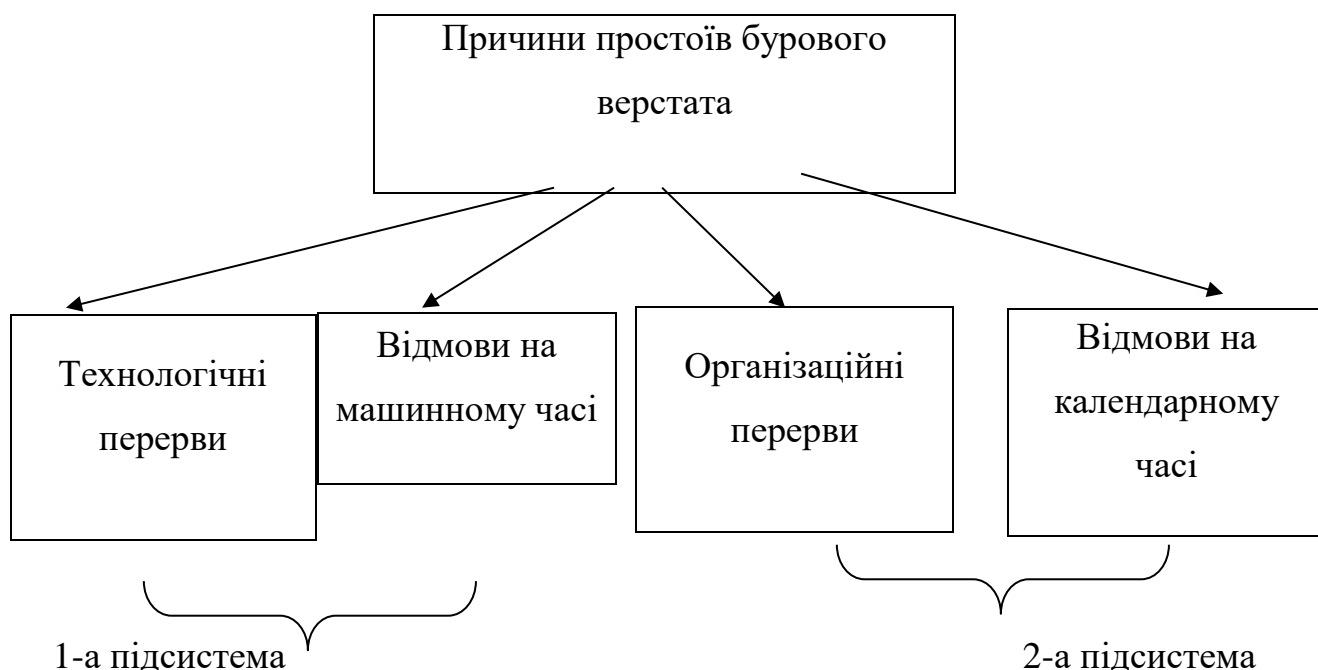


Рис. 4.6 – Класифікація простоїв бурового верстата

Таблиця 4.3 – Причини перерв у роботі верстатів шарошкового буріння типу СБШ

1. Установка і закріплення верстата перед початком буріння свердловини
2. Нарощування бурового става
3. Перехоплення штанг патроном
4. Підйом і розбирання бурового става
5. Огляд, заміна долота
6. Переїзд верстата на нову свердловину

Пропонована класифікація відмов і перерв в роботі бурового верстата, відображаючи загальноприйняту класифікацію, враховує основні вимоги з точки зору математичного моделювання методами теорії масового обслуговування [19]. Кожна з двох розглянутих підсистем простоїв описується своєю математичною моделлю.

4.3. Моделювання організаційних перерв і відмов на календарному часі для верстатів типу СБШ

Друга підсистема враховує простої бурового верстата по внутрішнюдільничним причинам, коли відмови відбуваються на календарному часу незалежно від того, працює верстат чи ні. Сюди ж відносяться простої з організаційних причин. Вихід з ладу одного елемента призводить до зупинки бурового верстата, тому підсистему необхідно вважати такою, що складається з N_2 послідовних елементів.

Таблиця 4.5 – Організаційні перерви.

Організаційні перерви
1. Підготовчо-заклучні операції
2. Відпочинок
3. Прийом і здача зміни
4. Проведення масового вибуху
5. Дроблення негабариту
6. Інші організаційні перерви
Відмови на календарному часі
1. Відмова повітряної розподільної ЛЕП-6 кВ
2. Відмова гнучких кабелів типу КШВГ-6 кВ

Таку підсистему масового обслуговування можна охарактеризувати наступним чином.

Послідовна підсистема з N_2 різних відновлюваних елементів з інтенсивністю відмов λ_{2i} і відновленням μ_{2i} (експоненціальний розподіл), при відмові підсистема не вимикається. Відновлення обмежене (кількість ремонтних робітників у видобувну зміну на ділянці обмежено).

Як і для 1-го випадку, процес зміни ймовірності станів описується лінійними диференціальними рівняннями Маркова-Колмогорова. Стаціонарне рішення такої системи рівнянь може бути отримано у вигляді:

$$P_{0-2} = 1 - \sum_{i=1}^{N_2} \frac{\lambda_{2i}}{\mu_{2i}}. \quad (4.15)$$

Середній час напрацювання на відмову визначається як і для першої підсистеми

$$\overline{T_2} = \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_2} \lambda_{2i}}. \quad (4.16)$$

Використовуючи ці залежності, знайдемо середнє часу відновленої підсистеми:

$$\overline{\Theta_2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_2} \lambda_{2i}} \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_2} \lambda_{2i} \mu_{2i}}{1 - \sum_{i=1}^{N_2} \frac{\lambda_{2i}}{\mu_{2i}}} \right). \quad (4.17)$$

4.4 Синтез моделі коефіцієнта використання в часі верстатів типу СБШ

Для визначення коефіцієнта використання в часі верстата за всіма видами відмов і перерв, розглянутих у двох попередніх моделях, складемо граф можливих можливих станів забою. Всі стану і переходи в системі залежать від станів окремих підсистем і їх кількість розраховується за формулою $N = 2^n$. У

нашому випадку для двох підсистем маємо $N = 2^2 = 4$ станів: 0 - відмов і перерв немає, верстат працює; 1 - простій бурового верстата по першій підсистемі дільничних відмов і технологічних перерв; 2 - простої верстата по другій підсистемі дільничних відмов і організаційних перерв.

Крім цих трьох простих станів можливо ще одне складне, тобто таке, при якому буровий верстат простоє одночасно з кількох причин. Цей стан 1.2 - простій верстата з причин першої і другої підсистем дільничних відмов, що діють одночасно.

Стани 0.1; 1.0; 0.2; 2.0 неможливі, оскільки вони несумісні. Нemoжливий також стан 2.1, так як при відмовах другої підсистеми відмова по першій підсистемі виникнути не може. Ця ж обставина вплинула на те, що одні стани пов'язані взаємними переходами, а стан 1.2 - одностороннім. Так, зворотній перехід зі стану $1.2 \rightarrow 1$ неможливий, так як виникша перша відмова по 1-й підсистемі першою і усувається, а відмова по 2-й підсистемі очікує своєї черги (обмежене відновлення). При закінченні усунення відмови 1-ої підсистеми система в цілому завжди перейде в стан 2, тобто почнеться усунення відмови у другій підсистемі. Всі стани, переходи і їх інтенсивності зображені на рис. (4.7) у вигляді графа станів системи «забій».

На підставі розробленого графа складемо диференціальні лінійні рівняння Маркова-Колмогорова, що описують зміну в часі ймовірності станів системи «забій».

$$\begin{aligned}\frac{dP_0(t)}{dt} &= -(\lambda_1 + \lambda_2)P_0(t) + \mu_1P_1(t) + \mu_2P_2(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\mu_1P_1(t) - \lambda_2P_1(t) + \lambda_1P_0(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= \mu_2P_2 + \lambda_2P_0 + \mu_1P_{1-2}; \\ \frac{dP_{1-2}(t)}{dt} &= -\mu_1P_1(t) + \lambda_2P_1(t).\end{aligned}\tag{4.18}$$

Для знаходження стаціонарного розв'язку цієї системи прирівняємо похідні нулю і вирішимо отриману систему лінійних алгебраїчних рівнянь з урахуванням умови повної ймовірності

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_{1-2} = 1. \quad (4.19)$$

Імовірність кожного стану описується виразом:

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1 - \lambda_2} P_0; \quad (4.20)$$

$$P_2 = \frac{\mu_1}{\mu_2} P_{1-2} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_0 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu_2 (\mu_1 \lambda_2)} P_0 + \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_0; \quad (4.21)$$

$$P_{1-2} = \frac{\lambda_2}{\mu_1} P_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu_1 (\lambda_2 + \mu_1)} P_0; \quad (4.22)$$

$$P_0 = \overline{K_u} = \left[1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 + \mu_1} \left(1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} \right) \right]^{-1}. \quad (4.23)$$

Отримана формула (4.23) дозволяє розраховувати математичне очікування коефіцієнта використання бурового верстата в часі з урахуванням всіх різновидів та відмов обладнання. Вплив організаційних, технологічних і технічних факторів на математичне очікування оцінюється за виразом (4.23) не прямо, а через вплив цих же факторів на раніше розглянуті параметри λ_1 і μ_1 простоїв відповідної підсистеми. Комплексна оцінка такого впливу показала, що внесок кожного виду простоїв бурового верстата в формуванні коефіцієнта використання верстата в часі неоднаковий. Значний вплив надають технологічні операції: нарощування бурового става, перехоплення штанг патроном, очищення та продування свердловини. Так як коефіцієнт використання бурового верстата в часі є випадковою величиною, то для оцінки тільки математичного очікування недостатньо. Необхідний показник, що враховує, коливання цього параметра по окремим змінам за певний період. При

цьому про ефективність роботи бурової ділянки говорить не тільки високе середнє значення коефіцієнта використання верстата в часі, але і його стабільність. Таким показником можуть служити дисперсія або коефіцієнт варіації коефіцієнта використання верстата в часі

$$D[K_u] = \frac{n}{\lambda^2 t^2} = \frac{\mu}{(\lambda + \mu)t}; \quad (4.24)$$

$$R_u = \frac{\sigma_u}{K_u} = \sqrt{\frac{\lambda + \mu}{\lambda \cdot \mu \cdot t}} \quad (4.25)$$

Як впливає з останнього виразу, на стабільність розглянутого параметра впливає не тільки його математичне очікування K_u , а й інтенсивність напрацювання на відмову λ . Найбільш просто оцінка стабільності коефіцієнта використання верстата в часі виражається через середню кількість періодів безперервної роботи бурового верстата n протягом зміни, яке визначається за виразом

$$n = \frac{\mu \lambda}{\lambda + \mu} t_c. \quad (4.26)$$

Так як стабільність коефіцієнта використання верстата в часі від його середнього значення, то зміна факторів, що ведуть до збільшення середнього значення коефіцієнта використання верстата в часі, в той же час збільшує і його стабільність при інших рівних умовах. В цілому необхідно відзначити, що час роботи бурового верстата оцінюється не одним, а двома показниками - математичним очікуванням і коефіцієнтом варіації. Кардинального збільшення коефіцієнта використання бурового верстата в часі за рахунок якого-небудь одного фактора домогтися не можна. Необхідні загальне поліпшення організації робіт, підвищення надійності устаткування і, в першу чергу, за рахунок раціональних режимів його експлуатації та ремонту, перехід на

малоопераційну технологію, зменшення часу на кінцеві операції. Облік ймовірного характеру процесу формування коефіцієнта використання верстата в часі з урахуванням коливань і обмежень спричинив за собою не тільки необхідність розробки нової моделі, але також залучення нової додаткової інформації - інтенсивності напруження на відмову λ_1 по кожному виду простоїв і максимально можливе значення коефіцієнта використання бурового верстата в часі $K_{\text{итак}}$. Така побудова методики розрахунку дозволяє підвищити загальну точність, що підтверджується достовірність основних її положень і доцільність деякого збільшення обсягу вихідної інформації та ускладнення розрахунків.

Висновки до розділу 4

1. Продуктивність буріння верстатом типу СБШ залежить як від швидкості буріння, так і від використання бурового верстата в часі. Використання верстата в часі оцінюється коефіцієнтом використання.
2. Коефіцієнт використання бурового верстата в часі залежить від наявності та тривалості технологічних операцій, організації технологічного процесу, надійності бурового забою і систем.
3. Використання бурового верстата в часі необхідно розглядати як випадковий марковський процес з відповідними математичними моделями.
4. Найбільший вплив на коефіцієнт використання верстата надають технологічні операції: нарощування бурового става, перехоплення штанг патроном, очищення та продування свердловини.
5. Тісний кореляційний зв'язок фактичних і розрахованих за моделлю значень коефіцієнта використання ($r = 0,82$) дозволяє використовувати результати моделювання для розробки інженерної методики розрахунку коефіцієнта використання бурового верстата типу СБШ в часі.

5 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПРОДУКТИВНОСТІ І ЕНЕРГОЄМНОСТІ БУРІННЯ ТА ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ БУРІННЯ ВЕРСТАТІВ ТИПУ СБШ

5.1 Розробка методики розрахунку швидкості шарошкового буріння

Розробляється методика розрахунку базується на отриманій раніше ймовірнісної нестационарної математичної моделі процесу буріння гірської породи шарошковим долотом. Структура методики розрахунку швидкості шарошкового буріння обумовлена особливостями модельованого процесу і поставленими завданнями.

Як було показано в підрозділі 3.4, весь набір можливих траєкторій руху виконавчого органу в просторі масиву описується системою диференціальних рівнянь (3.26). осреднение рівнянь Лагранжа і рівняння ФПК за часом дозволяють отримати їх стаціонарні рішення як для кутової швидкості обертача (3.29), так і для глибини руйнування гірської породи h (3.30). В обидва ці вирази входять значення моменту на обертачі M , осьового зусилля P і характеристики руйнування породи шарошечним долотом $e_{ш}$.

Момент на обертачі пов'язаний з кутовою швидкістю механічної характеристики $M = f(\omega)$, конкретний вид якої для різних типів бурових верстатів наведено на рис. 3.5.

Цієї вихідної інформації достатньо для розрахунку зазначених параметрів, а швидкість буріння визначається через ці параметри (3.31). Необхідно мати на увазі, що параметри буріння, є випадковими величинами, до яких застосовуються методи, -використовувати в розділі 3 при моделюванні процесу буріння, детальна методика розрахунку швидкості буріння V_6 і інших параметрів.

5.2 Розробка методики розрахунку коефіцієнта використання в часі верстата типу СБШ

Використання бурового верстата в часі оцінюється коефіцієнтом використання (розділ 4), який враховує повний набір технологічних і організаційних перерв, а також надійність як самого верстата, так і сполученого з ним обладнання.

При розрахунку коефіцієнта використання бурового верстата в часі необхідно:

- встановити повний перелік причин, які призводять до перерв процесу буріння,
- відібрати з них найбільш ймовірні (такі, які найбільш часто зустрічаються).
- класифікувати відібрані причини перерв по групах;
- для кожного типу перерв визначити його середню тривалість і періодичність;
- для кожної з двох груп перерв розрахувати інтенсивність.

На підставі цих проміжних результатів визначається середнє значення коефіцієнта використання K_u . При необхідності можуть враховуватися обмеження при випадкових коливаннях як швидкості буріння V_b , так і коефіцієнта використання K_u .

5.3 Розробка методики розрахунку експлуатаційної змінної продуктивності бурових робіт на блоці

Середнє значення експлуатаційної змінної продуктивності бурових робіт на блоці розраховується за виразом:

$$\bar{P}_c = \bar{V}_6 \cdot S \cdot \bar{K}_u \cdot t_c, \text{ м}^3/\text{зміну} \quad (5.1)$$

де V_6 - середня швидкість буріння гірських порід на блоці. Визначається за відповідною методикою;

S - поперечний переріз свердловини, м²;

\bar{K}_u - середнє значення коефіцієнта використання бурового верстата в часі,

t_c - тривалість зміни, хв.

5.4 Методика розрахунку енергоємності буріння гірських порід

Під технічною енергоємністю буріння гірських порід мається на увазі кількість витраченої енергії на руйнування одиниці об'єму масиву

$$e_6^V = \frac{E}{V}, \text{ Дж/м}^3 \quad (5.2)$$

Технічна енергоємність буріння гірських порід шарошковими долотами залежить від властивостей і стану самих гірських порід, типу і стану бурового верстата і робочого інструмента, режиму буріння. Однак для кожного поєднання перерахованих факторів існує такий режим буріння, при якому технічна енергоємність буріння буде мінімальною.

Для визначення фактичної енергоємності буріння при заданих параметрах P і ω необхідно попередньо встановити:

- щільність ρ гірської породи і міцність для буримої породи;
- категорію До гірських порід за шкалою буримості;
- потужність холостого ходу обертача верстата N_0 ;
- технічну швидкість буріння V_6 .

Використовуючи значення величини технічної швидкості буріння потужності холостого ходу вращателя N_0 , категорії гірської породи по

буримості K для заданого режиму буріння (P і ω), визначають технічну енергоємність буріння.

Отримане значення технічної енергоємності буріння може бути мінімальним, якщо вибрані параметри будуть оптимальними і може бути вище мінімального значення, якщо робочі параметри будуть відрізнятися від оптимальних значень.

Експлуатаційна енергоємність буріння, на відміну від Технічної, враховує не тільки витрати енергії на процес буріння але і інші енергетичні витрати, пов'язані з підйомом або опусканням бурової штанги, продувкою, переїздами і іншими технологічними операціями:

$$e_{\text{э}} = e_{\text{б}} = \frac{N_x K_x}{V_{\text{б}} K_u} + \frac{N_n K_n}{V_{\text{б}} K_u} + \frac{N_0 K_0}{V_{\text{б}} K_u}, \text{ Дж/м}^3 \quad (5.3)$$

де $e_{\text{э}}$ - експлуатаційна енергоємність буріння Дж / м³

$e_{\text{б}}$ - технічна енергоємність буріння Дж / м³ ;

N_x - потужність холостого ходу бурового верстата при обраній швидкості буріння, Вт;

$V_{\text{б}}$ - середня технічна швидкість буріння для даної гірської породи, бурового верстата, бурового інструменту і режиму буріння, м / с, яка визначається експериментально або розраховується за методикою, наведеної в розділі 5;

K_u - коефіцієнт використання бурового верстата в часі;

$K_x = t_x / t_c$ - коефіцієнт холостого ходу бурового верстата, який визначається як відношенням тривалості режиму холостого ходу за зміну до тривалості самої зміни;

N_n - потужність, що витрачається на переїзди верстата, Вт;

$K_n = t_n / t_c$ - коефіцієнт, що враховує частку тягара на переїзди верстата за зміну;

N_0 - потужність, що витрачається на очищення свердловини від бурової дрібниці, Вт;

$K_0 = t_0/t_c$ - коефіцієнт, що враховує частку часу зміни, витраченої на розчищення свердловини.

Порівняння фактичних значень продуктивності буріння свердловин з розрахованими за розробленою методикою показали, що коефіцієнт парної кореляції між ними збільшився з 0,2 ... 0,3 до 0,76 ... 0,89, що свідчить про достатню адекватність розроблених моделей об'єкту моделювання.

5.5 Оптимізація параметрів процесу буріння свердловин на кар'єрі, опис технології та ідеї стартап проекту

Для порівняльної оцінки ефективності роботи кар'єрів по видобутку будівельних матеріалів використовують показник питомих сумарних приведених витрат, або інші показники, в які входять грошові витрати на виробництво продукції. Але фактична робота цих підприємств за 30 років показала, що в умовах нестабільної економіки оцінка ефективності виробництва по вартісних показниках не дає реальної картини виробництва і часто призводить до негативних наслідків. В зв'язку з цим, в роботі використовується в якості локального показника ефективності енергоємність бурових робіт. З іншого боку, введення такого показника зумовлено також значним зростанням тарифу всі види енергії в тому числі і електричної.

Достатньо глибоко і системно зв'язок енергоємності процесу буріння гірських порід на кар'єрі з параметрами процесу досліджений І.О. Тангаєвим. Результати його досліджень дозволили зв'язати натуральні показники (швидкість буріння, час 1м свердловини) з енергозатратами, що дало можливість встановити показник енергоємності руйнування шарошковим

долотом для кожної категорії породи. Таким чином, теоретичні вкладки, приведені в розділі 3, показали, що, враховуючи енергетичні витрати на процес буріння може бути описаний рівнянням Лагранжа другого роду (3.24) та рівнянням ФПК (3.2).

В нашому випадку для конкретного верстату рівняння Лагранжа другого роду мають вигляд (3.26), а рівняння ФПК (3.33). Після деяких необхідних перетворень (див. 3.34 – 3.39), одержимо, що питома енергоємність буріння може бути розрахована за виразом:

$$eE = \frac{D\omega^2}{K_B\Pi_6} \exp\left(\frac{e_{ш}K_B\Pi_6}{D\omega^2}\right) \quad (5.4)$$

де D – дисипативні втрати, Дж с;

ω – кутова швидкість обертача (3.29);

K_B – коефіцієнт використання бурового верстату в часі;

Π_6 – продуктивність буріння, м³/с;

$e_{ш}$ – енергоємність руйнування гірської породи шарошковим долотом.

Аналіз цього виразу показав, що питома енергоємність буріння має екстремальну залежність від продуктивності буріння.

Прийнявши фактичний режим буріння по експериментальним даним (Тангаєв), розраховані оптимальні параметри для кожної із категорій порід та співставлені із значеннями (табл. 5.1).

Аналіз результатів показав, що з ростом міцності гірської породи ефективність використання оптимальних режимів буріння зростає.

За рахунок оптимізації на кожному метрі кубічному може економитись від 0 до 100 кВт год електричної енергії в залежності від категорії порід і режиму буріння.

Таблиця 5.1 – Порівняння фактичного та оптимального режимів буріння для гірських порід різних категорій

Категорія породи	Фактична продуктивність м ³ /год	Фактична енергоємність мДж, м ³ /год	Оптимальна продуктивність М ³ /год	Мінімальна енергоємність мДж/м ³	$\Delta e = e_f - e_m$	кВт год/м ³
VIII	1,0	75	1,5	70	5	1,4
X	1,0	100	1,0	100	0	0
XIV	1,0	300	0,45	200	100	27
XV	1,0	620	0,30	240	380	105

Реальне зменшення втрат енергії при передачі від джерела до породоруйнуючого інструменту можливо внаслідок переміщення приводу обертання інструменту до забою свердловини (застосування забійних гідро або електродвигунів, редукторів-мультиплікаторів, що підвищують частоту обертання інструменту при помірній частоті обертання бурильної колони) – оптимізація режиму роботи бурового верстату (табл.5.2)

Таблиця 5.2 – Зміст ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Оптимізація режиму роботи бурового верстату, як наслідок зменшення енергоємності роботи на 16-28%.	Кар'єри відкритого типу	Економія енергоресурсу Підвищення ефективності видобутку корисних копалин

Станом на вересень 2018 року, тарифи на електроенергію для гірничих підприємств склали – 211 коп/кВт. Питомі витрати електроенергії при

оптимізованій технології режиму буріння складуть $14,19 \cdot 211 = 29$ грн 94 коп кВт год/п.м. При звичайному режимі – $19,44 \cdot 211 = 41$ грн 01 коп. Різниця на 1 п.м становить 11,07 грн. Застосування оптимального режиму роботи бурового верстату дозволяє суттєво зекономити енергоресурс.

Енергоефективне використання шарошкових доліт із ущільненими опорами (які в 2-4 рази збільшують величину M) та різною системою промивання (гідромоніторна, бокова або центральна) потребує збільшення механічної швидкості в 1,4 – 2 рази (з умови рівності витраченої енергії) при $Q = \text{const}$. А збільшення подачі насоса Q посилює цю різницю і необхідність різкого підвищення механічної швидкості буріння. У разі використання однотришарошкового гідромоніторного та фрезерного доліт за однакових режимно-технологічних параметрів буріння отримано графічну залежність (рис. 2) зміни затраченої потужності на обертання долота $N(Q)$ і встановлено, що одношарошкове долото характеризується найменшими затратами потужності під час буріння свердловини. За значень Q від 10 до 40 л/с затрати потужності для тришарошкового долота збільшуються від 0 до 1100 кВт, що перевищує відповідний показник для шарошкового долота на 80%.

В даний час буропідривні роботи залишаються основним способом підготовки міцних гірських порід до подальшої розробки. Незважаючи на безліч недоліків даного способу ефективної альтернативи йому до цих пір не існує.

Сучасні бурові станки забезпечують низькі експлуатаційні витрати, за рахунок оптимізованої гідравлічної системи зменшується витрата палива. Швидка установка і проста настройка параметрів буріння підвищують продуктивність і ефективність.

Було проаналізовано деякі показники стану ринку , табл. 5.3

Таблиця 5.3 – Показники стану ринку

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
3	Наявність обмежень для входу	Висока конкурентність
4	Середня норма рентабельності по ринку, %	40
5	Специфічні вимоги до сертифікації та стандартизації	Так

З даної таблиці видно, динаміка є зростаючою а кількість головних гравців невелика, що дає змогу увійти в даний сегмент.

Також було промоніторено потенційних клієнтів нового проекту.

Таблиця 5.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Економія енергії як природного ресурсу.	Приватні підприємці що задіяні у добуванні корисних копалин; Державні підприємства.	Фактори, що формують поведінку клієнта: ДСТУ, ISO, закон України про охорону навколишнього середовища; гірничий закон України і тд.	Забезпечити максимальний прибуток, при мінімальній затраті на електроенергію агрегату (верстату).

У таблиці 5.5 представлено приблизні фактори конкурентоспроможності технології.

Табл.5.5 – Фактори конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування фактору
1	Низька собівартість технології	Не потребує великих затрат при розробці
2	Низькі експлуатаційні витрати	За рахунок оптимізованої гідравлічної системи зменшується витрата палива
3	Підвищення ефективності роботи в короткий термін	Швидка установка та налаштування режиму роботи.

Середньомісячна продуктивність верстатів СБШ 250 на кар'єрах України в 2010 р. становила 4800 п.м. на місяць. Собівартість буріння верстатом СБШ-250М склала 41,6 грн/п.м. У разі використання оптимізованого режиму роботи собівартість складе – 29,94 грн/п.м.

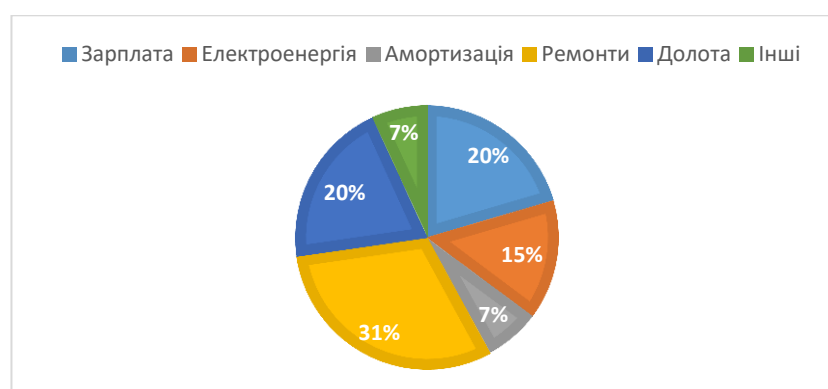


Рисунок 5.1 – Структура витрат на буріння 1 п.м. свердловини верстатами СБШ 250

Аналіз структури витрат показує, що бурові верстати СБШ 250 потребують багато затрат у сфері ремонтних робіт, зарплат та електроенергії. Проведення оптимізації технології дозволить істотно зменшити затрати на електроенергію, що дозволить зекономлені кошти вкласти в подальші проведення ремонтних робіт або збільшення заробітних плат працівникам.

Табл. 5.6 – SWOT аналіз

<u>Сильні сторони:</u> Низька собівартість; Порівняно висока ефективність роботи; Заощадливість.	<u>Слабкі сторони:</u> Підходить для окремо визначеного типу верстатів;
<u>Можливості:</u> Збереження електроенергії; Оптимізована технологія.	<u>Загрози:</u> Конкуренція.

Основними недоліками верстатів СБШ є велика маса і мала стійкість доліт у важкобурих породах, високий рівень шуму, вібрації, викиди пилу, аварійність, складність обслуговування, невисока швидкість пересування. Розроблення нових оптимізованих режимів роботи верстату дозволило вдосконалити техніку для буріння свердловин завдяки цьому суттєво підвищити її продуктивність і зменшити енергоємність процесу буріння. Всі існуючі теорії механічного руйнування гірських порід можна звести до енергетичної теорії, згідно з якою переважним є спосіб руйнування, режими і тривалість процесу, які забезпечують мінімальну енергоємність буріння.

Висновки до розділу 5

1. На підставі проведених досліджень на моделях процесу буріння і ряду експериментальних вимірів розроблені: методика розрахунку швидкості буріння для верстатів типу СБШ; методика розрахунку коефіцієнта використання бурового верстата в часі; методика розрахунку змінної експлуатаційної продуктивності бурового рганка; методика розрахунку енергоємності бурових робіт.

2. Порівняння результатів, виконаних за пропонованою методикою з фактичним вимірами продуктивності буріння дозволило встановити, що коефіцієнт парної кореляції між ними зріс з 0,2 ... 0,3 до 0,76 ... 0,89 в порівнянні з розрахунками, виконаними по раніше існуючими методиками, що дозволяє значно підвищити точність і достовірність результатів.

3. Встановлено, що повна енергоємність процесу буріння екстремально залежить від продуктивності верстата, що дозволяє встановити значення параметрів режиму буріння, що забезпечують мінімальні значення повної енергоємності бурових робіт.

4. Проведені порівняння дозволяють рекомендувати розробтанну інженерну методику розрахунку продуктивності і енергоємності буріння свердловин на кар'єрах буровими верстатами типу СБШ для її використання як при проектуванні бурових робіт, так і на кар'єрах для встановлення оптимальних параметрів режиму буріння.

5. Ефективність бурових верстатів СБШ-250 обмежується їх технічними можливостями і енергоефективністю. Виходячи з того, що швидкість буріння є інтегральним і комплексним показником ефективності бурових робіт на кар'єрах, особливо при руйнуванні міцних та надміцних порід, застосування бурових верстатів СБШ з оптимізованими характеристиками є надзвичайно перспективним напрямком. Застосування

високопродуктивних верстатів СБШ разом із розробленням та впровадженням сучасних високоефективних ВР, дає можливість зменшити діаметр свердловин і об'ємів вибухових робіт, що значно підвищить як ефективність вибухових робіт, так і техніко-економічні показники гірничого підприємства в цілому, та одозволить зекономити значну частину коштів за рахунок зменшення споживання електроенергії на 16 – 27% .

ВИСНОВКИ

1. Для чинного бурового обладнання на кар'єрах зниження енергоємності бурових робіт можливо за рахунок вибору параметрів режиму буріння для конкретної гірської породи, які б забезпечували мінімальне значення енергоємності буріння.

2. Чисто виробничо-експериментальними методами встановити, а тим більше забезпечити оптимальний режим роботи бурового верстата не вдається. Для вирішення цієї проблеми необхідно розробити адекватну математичну модель процесу буріння, що дозволяє досліджувати його і встановити відповідні закономірності і залежності для ефективного управління процесом.

3. Існуючі методи моделювання і побудовані на їх основі математичні моделі не дозволяють вирішити дану проблему, так як є, як правило, детермінованими, статичними або, в крайньому випадку, стаціонарними моделями, а процес, що моделює буріння є імовірнісним / динамічним, нестаціонарним, нелінійним, дисипативним процесом.

4. Для моделювання такого класу процесів розроблений, що базується на принципі дуальності при русі маси в просторі, метод моделювання імовірнісних нестаціонарних процесів.

5. Процес буріння розглядається як сукупність двох основних процесів: руйнування гірської породи шарошковим долотом і транспортування бурової дрібниці по свердловині із забою на поверхню. Для кожного процесу розроблена своя математична модель.

6. Для моделювання процесу руйнування гірської породи шарошковим долотом використовується статистичне рівняння Лагранжа другого роду, яке описує набір можливих траєкторій руху руйнуючого інструменту в середовищі з нелінійним опором і рівняння ФПК, яке дозволяє оцінити ймовірність координат для кожної з можливих траєкторій руху .

7. Фізично процес руйнування гірської породи шарошковим долотом розглядається як переміщення тіла з змінною масою в середовищі. Математично цей процес розглядається як двохмірний марковський процес з відповідними рівняннями Лагранжа і ФПК. Дисипативні втрати як в елементах бурового верстата, так і в руйнованому масиві визначаються на підставі додаткових теоретичних чи експериментальних досліджень.

8. Розв'язок отриманих рівнянь Лагранжа і ФПК дозволили встановити ряд залежностей параметрів режиму буріння, конструкції виконавчого органу, можливостей приводу обертача і приводу осьового зусилля подачі. Встановлено, що потужність споживана обертачем бурового верстата експоненціально залежить від продуктивності буріння; питома енергоємність буріння для конкретної гірської породи має екстремальну залежність від продуктивності буріння; оптимальне значення продуктивності буріння буде відповідати мінімальному значенню питомої енергоємності буріння; знання оптимального значення продуктивності буріння дозволяє встановити і підтримувати в ручну, або краще в автоматичному режимі кінематичні і силові параметри, які забезпечують оптимальну продуктивність, а отже, і мінімальну питому енергоємність процесу.

9. Математична модель процесу транспортування бурової дрібниці по свердловині дозволяє розрахувати витрати повітря, а отже і енергії на процес в залежності від дисперсійного складу бурової дрібниці, яка, в свою чергу, залежить від двох керованих параметрів: осьового зусилля подачі і кутової швидкості обертача.

10. Для оцінки використання бурового верстата в часі розроблена імовірнісна, динамічна, нестационарна модель коефіцієнта використання бурового верстата у вигляді системи диференціальних рівнянь Маркова-Колмогорова. У моделі врахований весь набір технологічних операцій, організаційні перерви і надійність як самого бурового верстату, так і

пов'язаних з ним інших технологічних процесів. Встановлено, що максимальний вплив на коефіцієнт використання верстата надають операція установки і закріплення бурового верстата перед початком буріння свердловини, операція перехоплення штанг патроном, відмови механічного обладнання бурового верстата і відмови під час підготовчо-заключних операцій.

11. Встановлено, що як енергоємність чисто процесу руйнування гірської породи шарошковим долотом, так і повна енергоємність процесу буріння, екстремально залежать від продуктивності буріння, що дозволяє встановити значення параметрів, які забезпечують мінімальні значення повної енергоємності.

12. На підставі проведених досліджень на моделях процесу буріння і ряду експериментальних вимірів розроблені параметри, які забезпечують оптимальну продуктивність, а отже, і мінімальну питому енергоємність процесу.

13. Прораховано економічну ефективність використання бурового верстату з менш енергоємним режимом роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авдеев Ф. А, Барон В.Л, Блейман И.Л. Нормативный справочник по буровзрывным работам. М.: Недра, 1975.
2. Барон Л.И., Глатман Л.Б., Загорский С.Л. Разрушение горных пород Кожушко, Л. Ф. Екологічний менеджмент: ВЦ «Академія», 2007. - 43с.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле, М.; Наука, 1976.
4. Крючков А.И. Влияние вариации и корреляции параметров режима работы очистного комбайна на нагрузку лавы. Автореферат дис на соиск. уч. степени канд. техн. наук. М.: 1988.
5. Лебедев Н.Н., Пирский А.А, Крючков А.И. Математическая модель процесса выделения метана из отбитого угля в очистном забое. «Уголь Украины», 1974.-№12 – с.35-36.
6. Буткин В.Д., Телешов А.С, Брюхов Б.Ф. Зависимость стойкости и расхода шарошечных долот от крепости горных пород. «Горный журнал», 1965,№9.
7. Воздвиженский Б.И., Мельничук И.П., Пешалов Ю. А., Физико-механические свойства горных пород и влияние их на эффективность бурения. М.: Недра, 1973.
8. Kellog H.K. Sizing up the energy requirements for producing primary materials. – Eng. And Mining journal, 1977, vol. 178, p. 61-65.
9. Стороженко А.М., Олтзаренко В.В. Эксплуатационная надежность станков шарошечного бурения. Свердловск, 1979 – 94с.
10. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н., Шмит Р.Г. Вибрация и надежность работы станков шарошечного бурения. М.; 1969.
11. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах, 1978.
12. Подэрны Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ. М.:

Недра, 1985.

13. Федоров В. С. Научные основы режимов бурения, ГНТИ, 1951.

14. Тангаев И.А Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М.; Недра , 1986.

15. Шор Я.Б., Кузьмин Ф. И. Таблица для анализа и контроля надежности. М.; 1968.

16. Владимиров Ю.С. Системы отсчета в теории гравитации. М., Энергоиздат, 1982.

17. Кутузов Б. Н., Михеев И.Г. Пневмотранспортные и обеспыливающие системы буровых станков на карьерах. М.: Недра,1970.

18. Дмитриев А.П., Гончаров С.А. Термодинамические процессы в горных породах. М.: Недра, 1983.

19. Жидовцев Н.А., Определение основных технологических показателей процесса бурения шарошечными долотами. «Нефтяная и газовая промышленность УССР», 1960, № 4.

20. Кариман С.А., Шрамко В.М. Надежность производственных процессов при подземной добыче угля. М.: Наука, 1975 - 159 с.

21. Киклевич Н.А., Харлашкин К.Н., Чепак А.А. Форсированные режимы механического разрушения крепких горных пород и углей. Киев — Донецк, Выща школа, 1977.

22. Тангаев И. А. Технологические свойства горного массива и методы их определения. Фрунзе, «Илим», 1975.

23. Крючков А.И. Влияние вариации и корреляции параметров режима работы очистного комбайна на нагрузку лавы. Автореферат дис на соиск. уч. степени канд. техн. наук. М.: 1988.

24. Кутузов Б. Н., Михеев И.Г. Пневмотранспортные и обеспыливающие системы буровых станков на карьерах. М.: Недра,1970.

25. Лебедев Н.Н., Пирский А.А, Крючков А.И. Математическая модель

процесса выделения метана из отбитого угля в очистном забое. «Уголь Украины», 1974.-№12 – с.35-36.

26. Марасанов Ю.П., Троп А.Е. Динамика бурового става станков шарошечного бурения. «Горный журнал», 1966, №6.

27. Минзер Ч., Торн К., Уиллер Дж. Гравитация. М.: Мир, 1977.

28. Новиков О.А., Петехов С.Н. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. М.,Сов. Радио, 1969- 238с.

29. Оценка буримости горных пород по удельной энергоемкости шарошечного бурения. «Горный журнал», 1974, №10 Авт. И.А Тангаев, Я.М Додис.

30. Перетолчина В.А. Вращательное и шарошечное бурение скважин на карьерах. М .: Недра, 1983.

31. Подэрны Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ. М .: Недра, 1985.

32. Разработка научного обоснования проектов экологически безопасных горных предприятий по добыче и переработке строительных материалов. Киев, КПИ, 1994.

33. Розанов Ю.А. Случайные процессы. М .: Наука, 1971 - 286 с.

34. Симкин Б.А., Кутузов Б.Н., Бугкин В.Д. Справочник по бурению на карьерах. - второй изд., Перераб. и доп. - М .: Недра, 1990.

35. Симкин Б.А. Технология и процессы открытых горных работ. М .: Недра, 1970.

36. Справочник по бурению на карьерах. Под ред. Проф. Д-ра. Техн наук Б.А. Симкина. М.; 1981.

37. Стороженко А.М., Олтзаренко В.В. Эксплуатационная надежность станков шарошечного бурения. Свердловск, 1979 – 94с.

38. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н., Шмит Р.Г. Вибрация и надежность работы станков шарошечного бурения. М.; 1969.

39. Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород М.; Недра, 1978.
40. Штофф В.А. Роль моделей в познании. Л., ЛГУ. 1986.
41. Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М.; Недра, 1986.
42. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. Изд. 2. М.; Недра, 1974. Авт. К.И. Иванов, М.С. Варич.
43. Тиле Р., Леонард Эйлер. Пер. с англ. Киев, Вища школа, 1988.
44. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле, М.; Наука, 1976.
45. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах, 1978.
46. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. М., Сов. Радио, 1977 – 488 с.
47. Ткачук К.Н., Недашаковский Ю.В., Жержерунов Ю.И. Управление буровзрывными работами на мощных карьерах. Киев, Техника. 1988.
48. Федоров В. С. Научные основы режимов бурения, ГНТИ, 1951.
49. Хастинге Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. М.; Статистика, 1980 – 95 с.
50. Царыцин В.В. Технологическое разрушение горных пород. Киев, Техника, 1964.
51. Шор Я.Б., Кузьмин Ф. И. Таблица для анализа и контроля надежности. М.; 1968.
52. Штофф В.А. Роль моделей в познании. Л., ЛГУ. 1986.
53. Эрдоган Ф. Теория распространения трещин // Разрушение. Математические основы теории разрушения, М.; Мир, 1975. – Т.2.
54. Ash R. The Mechanics of Rock Breakage. – “Pit and Quarry”, 1963, vol.56.p
55. Nicolas P. Chironis Dragline Computer Improves Control. – Coal Age,

1981, vol. 86 p. 108-120.

56. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах, 1978.